

INSTITUT ALLEMAND DE DEVELOPPEMENT

**La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie**

Susanne Neubert  
Sihem Benabdallah

**Etudes et rapports d'expertise 11/2003**

Bonn 2003

©

Deutsches Institut für Entwicklungspolitik  
Tulpenfeld 4 · D-53113 Bonn

Telefon + 49 0228 94927-0 · Telefax + 49 0228 94927-130

[DIE@die-gdi.de](mailto:DIE@die-gdi.de)

[www.die-gdi.de](http://www.die-gdi.de)

ISBN 3-88985-259-9

## Préface

Cette étude est issue d'un projet de coopération entre Dr. Sihem Benabdallah (*Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis, CITET*) et Dr. Susanne Neubert (*Institut Allemand de Développement, IAD, Bonn*).

Cette étude tente de répondre à quelques questions importantes qui sont débattues actuellement au niveau international sur l'utilisation des eaux usées traitées. L'intérêt analytique de l'étude réside dans le fait de confronter l'idéal d'une approche intégrée de la gestion de l'eau avec les conditions pratiques locales – c'est-à-dire ici, dans un pays assez développé qui souffre cependant de pénurie d'eau – et d'examiner les motifs d'action des acteurs dans le secteur de l'eau. L'intérêt par rapport aux politiques du développement consiste à contribuer au positionnement de la coopération allemande dans ce domaine et à rendre possible un jugement réaliste sur la procédure. Enfin, il doit être concrètement clarifié dans cette étude à quel moment et sous quelles conditions il est judicieux pour la coopération allemande de soutenir la stratégie de l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture et de cofinancer aussi les projets correspondants.

Le travail s'adresse donc en premier lieu aux décideurs tunisiens et allemands, au *Ministère de l'Agriculture* et à l'*Office National de l'Assainissement (ONAS)*, au *Ministère Allemand de la Coopération et du Développement (BMZ)* ainsi qu'aux organismes de développement allemands et internationaux (FZ/TZ) oeuvrant dans le secteur de l'environnement et de l'eau.

Dans le cadre de l'élaboration de cette étude, les auteurs ont discuté avec de nombreux experts et décideurs en Tunisie et en Allemagne (liste en annexe, 2<sup>ème</sup> Partie). Ces discussions ont été très utiles et plusieurs aspects et opinions mentionnés par les interlocuteurs ont été élaborés dans la présente étude. Que tous les interlocuteurs soient ici cordialement remerciés pour la disponibilité dont ils ont fait preuve lors des échanges.

Merci nommément à Klaus Wenzel (CITET/GTZ) pour son assistance fondamentale au niveau de

l'organisation. En outre, je remercie particulièrement Andreas Kuck et Jürgen Blanken pour leurs précieuses critiques du manuscrit. Je remercie Alexandre Sessouma pour la traduction de la deuxième partie de cette étude et Fatia Elsermann pour le remaniement rédactionnel.

Bonn, novembre 2003

Susanne Neubert



## Introduction

Bien qu'une politique de l'eau soit partie exemplaire, les ressources d'eau en Tunisie deviendront aussi encore plus rares si la gestion d'eau actuelle ainsi que les chiffres de demande d'eau se maintiennent. Un objectif stratégique important de la politique de l'eau dans ce pays est donc d'augmenter de manière efficiente l'utilisation de l'eau. L'utilisation des eaux usées traitées (EUT) dans l'irrigation agricole est une possibilité importante pour parvenir à cet objectif.

De ce fait, la Tunisie a formulé l'objectif national d'augmenter le taux d'utilisation des eaux usées dans l'agriculture à 50 %. Cependant, malgré des incitations économiques et des tarifs échelonnés en fonction des différentes qualités de l'eau, il est beaucoup plus difficile d'atteindre cet objectif tel que prévu initialement.

Ainsi, le taux d'utilisation des eaux usées s'élève depuis quelques années à 20 % au maximum et stagne à ce niveau. Dans la présente étude, on identifie les obstacles à la réalisation de cet objectif et on en déduit des recommandations pour les surmonter.

Le problème essentiel est que l'épuration conventionnelle des eaux usées ne prend pas en considération les besoins de qualité des utilisateurs de cette eau mais, traditionnellement, produit des qualités d'eaux usées destinées à être déversées dans des cours d'eau. Le point crucial de cette étude est de voir comment ce facteur porte préjudice aux intérêts des acteurs

### Le travail se compose de deux parties :

Dans la **1<sup>ère</sup> Partie** (Sihem Benabdallah), on énonce d'abord le contexte écologique, économique et institutionnel de l'utilisation des EUT en Tunisie. A ce propos, on indique les données sur les ressources hydriques et la qualité de l'eau en Tunisie et on analyse les mécanismes juridiques et les besoins de qualité. Finalement, on explique le statut quo de la purification de l'eau usée et on présente les différents projets de l'utilisation des EUT.

Dans la **2<sup>ème</sup> partie** (Susanne Neubert), on examine les différentes perspectives de plusieurs acteurs touchés par l'utilisation des EUT. On analyse les avantages et les inconvénients liés à l'utilisation des EUT pour les différents acteurs et particulièrement pour les agriculteurs. Ce moyen permet de déceler les entraves à la mise en oeuvre de l'utilisation des EUT et de déduire des recommandations pour les surmonter. Enfin, on examine la question de savoir si un traitement complémentaire dans les stations d'épuration disponibles est le geste adéquat pour surmonter les obstacles. On en analyse les conditions ainsi que la question de celui qui doit prendre en charge les frais. En outre, des diagrammes de décision doivent faciliter la décision selon les cas et soumettre une évaluation réaliste des variables.



## Résumé

L'utilisation des eaux usées traitées (EUT) dans l'agriculture est un bon moyen pour les pays en pénurie d'eau de recycler les eaux usées de façon profitable et, ainsi, d'utiliser plus efficacement leurs ressources d'eau.

En Tunisie, l'utilisation des EUT est déclarée comme un objectif national et on vise un taux d'utilisation de 50 % dans l'agriculture irriguée. La bonne volonté des décideurs tunisiens à mettre sérieusement sur pied le processus de l'utilisation des EUT se manifeste non seulement à travers la mise en œuvre de conditions juridiques valables, mais aussi par le développement d'un système d'évacuation relativement très avancé, la fixation de tarifs différentiels, ainsi que par les projets existants dans le domaine de l'utilisation des eaux usées.

Cependant, le taux d'utilisation des eaux usées stagne depuis quelques années et s'élève avec les grandes fluctuations saisonnières à un maximum de 20 %. Dans cette étude on identifie les entraves à la mise en œuvre pour atteindre cet objectif et on en déduit des suggestions pour les surmonter.

Comme méthode d'approche, l'analyse d'acteurs a été choisie car c'est seulement en comprenant les motifs d'action des acteurs concernés que l'on peut identifier les entraves à la mise en œuvre et le cas échéant les surmonter. Puisque dans la discussion relative à ce thème la perspective économique des agriculteurs n'est pas souvent traitée de manière suffisante, ce travail met l'accent sur les utilisateurs des eaux usées.

Les résultats de la présente étude montrent que sous un premier point de vue, l'utilisation des EUT serait profitable pour l'ensemble de la société, l'environnement et les évacuateurs. L'utilisation des EUT n'augmente pas seulement l'utilisation efficiente de la ressource hydrique en soi ni la valeur ajoutée par unité de volume d'eau, mais aussi elle soulage au niveau des substances les cours d'eau. Même pour les évacuateurs, le processus est clairement positif. Il leur permet d'organiser l'évacuation de manière plus efficace et

plus facile qu'il n'est souvent possible dans des pays arides où les points d'eau sont généralement éloignés et possèdent peu d'eau. En même temps les fournisseurs d'eaux usées peuvent obtenir des revenus financiers qui n'existeraient pas en dehors de l'utilisation des EUT.

Mais il est très difficile d'évaluer la manière dont les changements quantitatifs causés par l'utilisation des EUT dans la distribution de l'eau ont des conséquences sur le secteur environnemental. Jusqu'ici, les milieux récepteurs aquatiques ont profité quantitativement des adductions d'eaux usées. En revanche, dans l'utilisation agricole, les eaux usées sont remises dans le sol, dans l'eau souterraine, dans les produits et dans l'atmosphère. Selon les cas, cela peut causer un important déficit qui serait plutôt évalué négativement. Mais dans le cas des villes côtières – comme à Tunis – la capacité de drainage se jette à quelques kilomètres plus loin dans la mer de sorte qu'on pourrait négliger les pertes.

On doit s'interroger également sur le profit procuré à toute la société par l'économie nette des ressources hydriques conventionnelles du fait de l'utilisation des eaux usées. La manière d'utiliser cette eau économisée – la laisser dans l'environnement (par exemple en exploitant moins d'eau de sources environnementales) ou s'en servir pour étendre ou intensifier l'irrigation dans l'agriculture – dépend des décisions des politiques de l'eau qui ne sont pas encore prises en Tunisie. Sous les conditions générales données, on doit supposer toutefois que les ressources d'eau économisées s'avèrent profitables pour le secteur agricole. Mais en raison du renforcement optimisé des systèmes d'approvisionnement de l'eau, c'est le secteur environnemental qui souffre davantage en Tunisie du manque d'eau et c'est plutôt à ce secteur qu'on devrait fournir éventuellement cette eau pour l'intérêt général de la société. On pourrait résoudre ce problème en limitant la part des ressources d'eau totale qui doivent être allouées au secteur agricole dans un pays. Ici, il est nécessaire d'évaluer les différents besoins.

Les utilisateurs des eaux usées – c'est-à-dire les agriculteurs – sont des groupes d'acteurs qui, sous

des conditions d'encadrement données, ont plus d'inconvénients que d'avantages par l'utilisation des EUT. Cette thèse est valable si on compare l'utilisation des EUT avec l'option alternative de l'irrigation conventionnelle. Elle se réfère donc à des sites d'irrigation absolus d'où on a généralement accès aussi aux sources d'irrigation conventionnelles. Malgré les incitations de prix évidentes, pour les agriculteurs, les coûts d'opportunité et les risques de production plus élevés prédominent largement si ces agriculteurs utilisent des eaux usées traitées. C'est la raison pour laquelle en Tunisie il existe dans plusieurs endroits des problèmes d'acceptation vis-à-vis de l'utilisation des EUT.

Le problème essentiel se trouve dans le fait que l'épuration conventionnelle (constitution matérielle des eaux usées) n'a pas été adaptée au moment de la construction des systèmes d'évacuation aux besoins agricoles mais aux besoins des cours d'eau, entièrement d'après le modèle des pays riches en eau. Pour atteindre le consentement des agriculteurs et ainsi mettre sur pied l'utilisation des EUT, le pas décisif pour la Tunisie est de corriger cette lacune de compatibilité.

Le faible accord entre la technique d'épuration conventionnelle et les besoins agricoles concernent une série de paramètres. Dans ce sens, on doit nommer particulièrement la charge résiduelle des germes pathologiques trop élevée des eaux usées, l'évaluation opposée de concentration des substances nutritives dans l'écoulement, l'azote tel qu'il se présente lors de l'écoulement ainsi que la salinité parfois très élevée. Le risque concernant les critères de déversement dans un cours d'eau est beaucoup moindre que dans l'utilisation agricole parce-que les germes pathologiques meurent vite d'eux-mêmes pendant un bref temps et l'effet de dilution fait généralement baisser les concentrations de sel à des niveaux tolérables. C'est pourquoi on pouvait être satisfait dans l'évacuation conventionnelle des concentrations données; par contre, les valeurs d'écoulement habituel ont été insuffisantes jusqu'à maintenant pour une utilisation non restrictive dans l'agriculture.

La sécurité hygiénique des eaux usées après une épuration conventionnelle en deux phases, est donc appropriée à l'utilisation agricole certes pour les céréales, les plantations, les plantes fourragères, etc. Par contre, pour les plantes qui se consomment crues (comme les légumes et les herbes directement broutées) la sécurité ne serait vraiment plus assurée dans tous les cas, même en Tunisie.

En conséquence, le gouvernement tunisien a introduit des restrictions de culture pour des plantes à consommation crue (particulièrement les cultures maraîchères) si on utilise des eaux usées pour les arroser. Cette décision était certes appropriée, mais pour les utilisateurs des eaux usées elle entraîne des conséquences économiques négatives. Par cela ils ont de hauts coûts d'opportunité qui stagnent le processus. Pour exploiter une entreprise agricole de façon rentable, les agriculteurs doivent non seulement optimiser la culture d'un type particulier de plantes cultivées par superficie mais aussi combiner de manière optimale les différents types de culture selon un plan (*cropping pattern*).

Même si l'utilisation des EUT est rentable pour chaque différent type de culture – par les avantages de coûts on peut couvrir les frais qui sont de 200 à 300 DT / ha (100–150\$ / ha) plus élevés que dans l'irrigation conventionnelle – les agriculteurs qui utilisent les EUT doivent, en raison des restrictions de cultures maraîchères, dévier un plan de production économiquement optimal pour produire des types de culture de moindre valeur. Pour un hectare, les frais d'opportunité dus à l'utilisation des eaux usées traitées s'élèvent jusqu'à 3000 DT (1500 \$). Même si un agriculteur d'une exploitation de 10 ha, en tenant compte des capacités de travail limitées, cultivait seulement deux hectares avec des cultures maraîchères, ses frais d'opportunité remonteraient au double des gains qu'il obtiendrait en raison des incitations de prix et des avantages de coûts des EUT.

En outre, il existe pour les utilisateurs des eaux usées d'autres sérieux inconvénients :

1 A certains endroits, l'offre des eaux usées est trop faible et beaucoup moins fiable que les



sources hydriques conventionnelles. Cela entraîne pour les agriculteurs une augmentation de risque de production.

2 Les eaux usées sont souvent très salées de sorte qu'il faut s'attendre à des pertes de revenus sur les types de plantes cultivées. En plus, il y a le risque d'un excès de salification pour les sols si on ne prend aucune mesure d'aménagement particulière.

3 Le risque résiduel de santé et d'agroécologie est très difficile à évaluer pour les agriculteurs car les agriculteurs tunisiens ne sont pas conseillés concernant l'utilisation des EUT.

Par ailleurs, les agriculteurs n'utilisent pas effectivement la valeur de fertilisation des eaux usées et ne tirent donc pas réellement un avantage important par rapport aux coûts. De ce fait, ils n'obtiennent que des couvertures de coûts sous optimales.

Dans les conditions données en Tunisie, les agriculteurs rendraient de ce fait un service à la société s'ils utilisaient des eaux usées traitées malgré un accès aux sources d'irrigation conventionnelles.

Par rapport à la politique de l'eau, cela signifie que des prix d'eau échelonnés ne suffisent pas pour diffuser cette technique dans des régions où il existe aussi l'option d'avoir accès à l'eau d'irrigation conventionnelle. Pour atteindre cela, l'épuration des eaux usées devrait être plus fortement orientée vers les besoins qualitatifs et quantitatifs des utilisateurs des eaux usées. De cette manière, l'utilisation des EUT serait rentable pour eux aussi sur l'ensemble de l'exploitation.

En principe, il serait possible d'atteindre les exigences hygiéniques d'une manière relativement avantageuse à l'aide d'une stratégie de traitement quasi-naturelle. Par exemple, on peut obtenir une désinfection suffisante des eaux usées seulement en la faisant séjourner autour de trois semaines dans des lagunes d'eaux usées. Cependant, considérant les systèmes existants, l'installation ultérieure d'un traitement complémentaire représenterait aussi la bonne solution. Mais ceci est logique uniquement pour les endroits qualifiés pour les

cultures maraîchères et auxquels d'autres qualités des eaux usées traitées (particulièrement la salinité) suffisent pour irriguer avec ces eaux usées des cultures maraîchères. Pour décider si l'investissement pour le traitement secondaire est raisonnable, il ne faut alors procéder que cas par cas.

Pour prendre cette décision il faut considérer plusieurs critères et les évaluer. A cet effet, on a développé et élaboré dans la présente étude des « diagrammes de décision ». Grâce à ces diagrammes, on peut prendre en considération toutes les variables d'influence importante et on peut faire une pondération appropriée. Les diagrammes de décision peuvent servir aussi bien pour les autorités tunisiennes que pour la coopération allemande (EZ) comme base de décision rapide et systématique selon les cas.

En Tunisie, on préfère la technique de l'irradiation aux rayons UV comme méthode de désinfection bien qu'elle ne fournisse point de résultats optimaux. En revanche, la technique de membrane est très efficace pour tous les micro-organismes. Ses coûts, qui sont plus élevés, représentent cependant un inconvénient ; on suppose que c'est probablement la raison pour laquelle on préfère l'irradiation aux rayons ultraviolets en Tunisie. Dans cette étude, on recommande d'examiner encore cette décision préalable.

La désinfection des eaux usées ne doit être en principe recommandée que lorsqu'il y a réellement abolition des restrictions de culture concernant les eaux usées désinfectées. L'appui de la coopération allemande peut être lié à cette condition.

Si le site est approprié pour un tel traitement complémentaire, il se pose encore quand même la question de savoir qui doit prendre en charge les frais. Etant donné que pour les agriculteurs les avantages d'un traitement complémentaire seraient énormes et que cela sert particulièrement l'objectif de l'utilisation inconditionnelle dans l'agriculture, une participation aux coûts (*cost-sharing*) de la part des agriculteurs semble appropriée.

La part des frais que les agriculteurs peuvent payer dépend des paramètres suivants :

4 Nombre d'exploitations fournies en eaux usées et sur lesquelles on peut prélever les frais d'exploitation.

5 Valeur des coûts d'opportunité épargnés, c'est-à-dire, les parcelles qui seraient effectivement cultivées avec des cultures maraîchères.

6 Potentiel du marché local pour les cultures maraîchères et évolution des prix.

Il est important de veiller, lors de la participation aux frais, à ce qu'un profit net soit garanti pour les exploitations agricoles.

En plus des frais d'exploitation, les coûts de construction d'un traitement secondaire doivent être aussi financés. Dans cette étude, on considère qu'un engagement de la coopération allemande est généralement raisonnable. Les arguments suivants militent en faveur d'un engagement financier :

7 L'utilisation des EUT est en principe une stratégie valable pour utiliser l'eau de manière plus efficace et plus durable.

8 La coopération financière (KfW) s'est fortement engagée jusqu'à présent dans la construction et l'exploitation des infrastructures d'approvisionnement et d'évacuation de l'eau de sorte qu'il est assez logique de poursuivre aussi cette assistance quand on adapte les institutions existantes aux exigences et aux nécessités en évolution.

9 Les expériences en matière de coopération avec la Tunisie sont jusqu'ici très positives.

On recommande à la Société Allemande de la Coopération Technique (GTZ) de s'engager, pour compléter cela, dans les secteurs suivants :

10 Appui lors de la formulation de concepts de politique de l'eau pour la diffusion et la bonne pratique de l'utilisation des EUT. Le but principal serait d'intégrer adéquatement la perspective des utilisateurs des eaux usées dans le concept d'évacuation et dans la distribution des frais. Un autre point d'intérêt serait d'analyser dans quelle mesure il serait valable de faire une répartition

sectorielle des ressources d'eau économisées par l'utilisation des EUT.

11 Elaboration de *guidelines* pour les agriculteurs (selon le modèle du BWP et du RWP, de la GTZ – Jordanie). Grâce à ces *guidelines* on pourrait élaborer et diffuser le bon usage des eaux usées. La priorité devrait être, en plus de l'usage correct de l'eau salée, le recours optimal aux substances nutritives contenues dans les eaux usées.

Au niveau de sa conception, l'utilisation des EUT devrait certes prendre en compte le principe « éviter avant réemploi »<sup>1</sup>, mais généralement on devrait traiter cette question fondamentale de manière pratique. Là où il existe déjà des systèmes sanitaires et d'eau potable, l'utilisation des eaux usées est en tout cas un progrès par rapport à l'évacuation conventionnelle.

Cependant, partout où des stratégies d'évacuation locale sont nouvellement planifiées il existe un terrain potentiel d'activités de participation au secteur « stratégies d'éviter » pour la coopération allemande (FZ et TZ). Des opportunités s'offrent toujours aux endroits où sont conçus de nouveaux quartiers urbains ou de nouvelles zones touristiques. On pourrait appliquer ici, plus sérieusement que par le passé, des concepts d'évacuation quasi-naturels. Cela concerne non seulement la réalisation de nouvelles stratégies dans le domaine sanitaire (par exemple ECOSAN, GTZ) mais aussi la construction de lagunes d'eaux usées ou des installations de décantation végétale – si on peut garantir une gestion professionnelle. Enfin, un tel engagement serait intéressant pour la Tunisie et pour la Coopération allemande (EZ) parce qu'il représenterait un modèle pour d'autres pays. La Tunisie pourrait servir ainsi d'exemple de maîtrise des problèmes d'adaptation dans le processus de vulgarisation de l'utilisation des EUT.

Il faudrait distinguer les concepts pour les pays en développement les plus pauvres et les concepts pour les pays en développement avancés parce que la situation de départ dans les pays plus pau-

1 Il faut éviter d'abord de produire des eaux usées avant de penser à les réutiliser.

vres se différencie fondamentalement de celle dans les pays avancés. Par manque de systèmes d'évacuation dans des pays plus pauvres, les eaux usées parviennent généralement sous la forme brute et sont, dans la plupart du temps, réutilisées uniquement sous cette forme. En conséquence, d'autres solutions sont nécessaires – c'est-à-dire à des prix plus avantageux qu'en Tunisie – pour atteindre une utilisation sûre et durable des eaux usées dans des pays pauvres. L'élaboration d'une étude qui prend en compte les différentes situations de départ concernant l'économie et la technique d'évacuation des différents groupes de pays, serait donc utile.



# **La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie**

## **1<sup>ère</sup> Partie**

Point de départ, conditions-cadres  
et stratégie politique d'eau

Sihem Benabdallah, CITET



## Table des matières 1<sup>ère</sup> Partie

### Abréviations

<b>1</b>	<b>Bilan des ressources en eau en Tunisie</b>	<b>1</b>
1.1	Aperçu sur les ressources en eau conventionnelle en Tunisie	1
1.2	Évolution de la demande en eau	3
<b>2</b>	<b>La stratégie nationale d'économie et de valorisation des eaux</b>	<b>3</b>
2.1	Historique	3
2.2	La stratégie d'économie d'eau	4
2.3	Le recours à l'eau non conventionnelle	5
2.4	La stratégie pour la promotion de la réutilisation des EUT	6
<b>3</b>	<b>Etat d'assainissement en Tunisie en tant que point de départ pour la réutilisation des eaux</b>	<b>8</b>
3.1	Etat des lieux	8
3.2	Redevance de l'assainissement	9
3.3	Qualité des eaux usées traitées	10
<b>4</b>	<b>Utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation – cadres et projets</b>	<b>13</b>
4.1	Cadre politique, institutionnel et réglementaire	13
4.1.1	Cadre politique	13
4.1.2	Cadre réglementaire	14
4.1.3	Cadre institutionnel	16
4.2	Etat actuel de la réutilisation des eaux épurées en irrigation	17
4.3	Les contraintes liées au développement de la réutilisation dans le secteur agricole	19
4.4	Les projets agricoles programmés	20
4.5	Tarification des eaux conventionnelles et non conventionnelles	20
4.6	Etude stratégique de valorisation des EUT	21

## Liste des Tableaux

Figure 1 :	Répartition géographique de la ressource conventionnelle en Tunisie	2
Tableau 1 :	Évolution de la demande en eau	3
Tableau 2 :	Programme de mobilisation globale des ressources en eau en Mm <sup>3</sup> /an	5
Tableau 3 :	Nombre d'habitants des communes prises en charge par l'ONAS	7
Tableau 4 :	Indicateurs de performance de l'ONAS	8
Tableau 5 :	Mode de facturation de l'ONAS en DT	9
Tableau 6 :	Redevance de l'assainissement pour l'usage industriel en DT	10
Tableau 7 :	NT 106.02 normes de rejets	11
Tableau 8 :	Rendement épurateur des STEP	13
Tableau 9 :	Caractéristiques des STEP	13
Tableau 10 :	Norme NT 106.03	15
Tableau 11 :	Les périmètres irrigués à partir des EUT	18
Tableau 12 :	Evolution des coûts moyens d'exploitation et d'entretien et des tarifs de l'eau d'irrigation	20



## **Abréviations**

AIC	Associations d'Intérêts Collectifs
ANCSEP	Agence Nationale de Contrôle Sanitaire et Environnemental des Produits
ANPE	Agence Nationale de Protection de l'Environnement
AVFA	Association pour la Vulgarisation et la Formation Agricole
BOT	Contrat de transfert propre à la construction (Build-own-transfer contract)
CITET	Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis
CRDA	Commissariat Régional du Développement Agricole
DBO <sub>5</sub>	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
DGGR	Direction Générale du Génie Rural
DGRE	Direction Générale des Ressources en Eaux
DHMPE	Direction de l'Hygiène du Milieu et de la Protection de l'Environnement
DT	Dinar Tunisien (1euro ~ 1,4 DT)
EUT	Eaux Usées Traitées
FAO	Food and Agricultural Organization (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
ha	hectare
INNORPI	Institut National de la Normalisation et de la Propreté Industrielle
j	jour
MA	Ministère de l'Agriculture
MAERH	Ministère de l'Agriculture de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques
MEAT	Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire
MES	Total des matières solides en suspension
mil	Millimes (1/100 du Dinar Tunisien)
Mm <sup>3</sup>	Millions de mètres cube
MSP	Ministère de la Santé Publique
NT	Norme Tunisienne
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONAS	Office National de l'Assainissement
PCB	Poly Chloro Biphényles
PCT	Poly Chloro Terphényles
SONEDE	Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux
STEP	Station d'épuration
UFC	Coliformes fécaux



## 1 Bilan des ressources en eau en Tunisie

### 1.1 Aperçu sur les ressources en eau conventionnelle en Tunisie

Les ressources d'eau en Tunisie sont confrontées à des problèmes de quantité et de qualité. Ces ressources sont limitées en raison du climat semi-aride à aride dans la majeure partie du territoire, avec des sécheresses épisodiques, et subissent une détérioration de leur qualité par ruissellement sur les différentes roches salifères réparties sur le territoire Tunisien.

La Tunisie reçoit en moyenne 230 mm/an de pluie; soit 36 milliards de m<sup>3</sup> par an. Ce volume varie entre 11 milliards de m<sup>3</sup>/an en année de sécheresse généralisée et 90 milliards de m<sup>3</sup> en année fortement pluvieuse. La variabilité du climat méditerranéen au Nord et saharien au Sud rend la ressource à la fois rare et inégalement répartie dans l'espace et dans le temps. La pluviométrie annuelle est en moyenne de 594 mm au Nord, de 289 mm au centre et n'est que de 156 mm dans le Sud du pays. Le rapport entre les précipitations maximales et minimales varie de 4,4 au Nord à 15,8 au Sud confirmant ainsi l'irrégularité et la variabilité d'une région à une autre.

Les ressources en eau en Tunisie sont estimées à 4700 Mm<sup>3</sup> dont 650 Mm<sup>3</sup> de ressources non renouvelables, soit un taux de 13,8 % du total de la ressource. Par conséquent, le ratio par habitant et par an n'est que de 450 m<sup>3</sup>, un taux faible par rapport aux normes internationales considérant les pays ayant moins de 1000 m<sup>3</sup> par habitant par an en tant que pays pauvre en eau.

Les ressources en eau de surface sont estimées à 2700 Mm<sup>3</sup> par an réparties sur quatre régions naturelles distinguées par des conditions climatiques et hydrologiques et des aspects géomorphologiques et géologiques relativement homogènes :

L'extrême Nord, en l'occurrence la région de Bizerte-Ichkeul, bien que sa superficie ne représente que 3 % de la superficie totale du pays, fournit des apports en eau de surface évalués à 960 Mm<sup>3</sup>, soit 36 % du potentiel total du pays. Le Nord représenté par les bassins de la Medjerda, du Cap Bon et de

Méliane fournit des apports relativement réguliers évalués à 1230 Mm<sup>3</sup>, soit 46 % du potentiel total en eau de surface.

Le centre comprenant les bassins versants de Nebhana, Merguellil, Zeroud et le Sahel, présente des ressources irrégulières dont la moyenne annuelle est évaluée à 320 Mm<sup>3</sup> soit 12 % du potentiel total du pays. Le Sud du pays qui représente environ 62 % de la superficie totale du pays, est la région la plus pauvre en eau de surface et ne possède que des ressources très irrégulières évaluées à 190 Mm<sup>3</sup> soit 6 % du potentiel total des eaux. On signale que 81 % des ressources en eau de surface sont situées au Nord du pays.

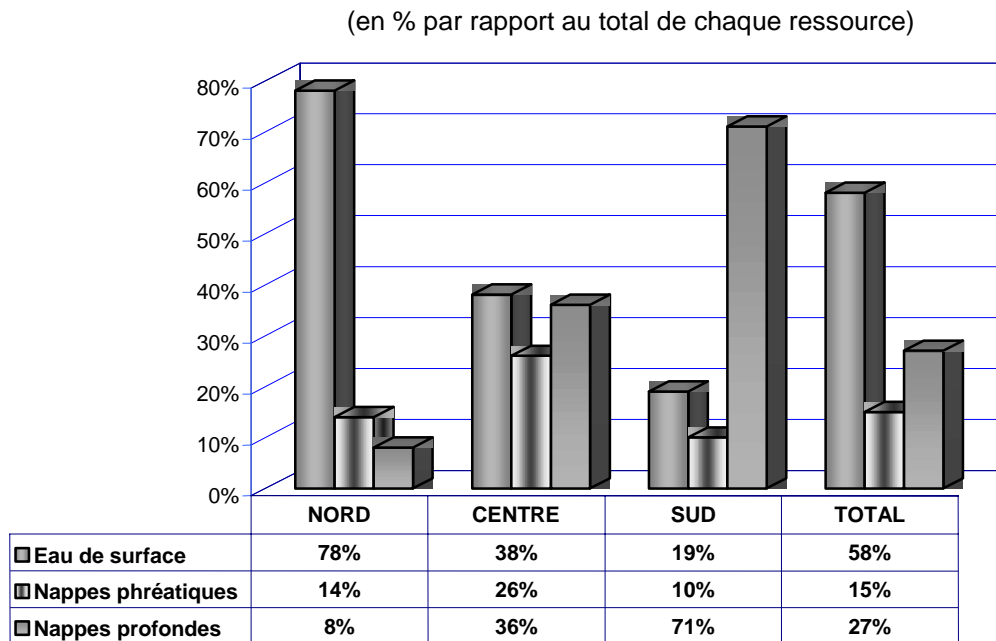
La qualité des eaux, évaluée par son degré de salinité varie selon l'origine de la ressource. L'état Tunisien considère qu'une eau ayant une salinité de moins de 1,5g/l est une eau de bonne qualité. Environ 72 % du total des eaux de surface représentent un niveau de salinité inférieur à 1,5g/l. La qualité de l'eau est représentée aussi dans une répartition géographique. Les eaux de moins de 1,5g/l présentent 82 % des eaux du nord, 48 % des eaux du centre et 3 % des eaux du Sud.

Cette inégalité dans la qualité de la ressource fait qu'une bonne partie des eaux du Nord est transportée vers le Sahel et le Sud afin d'améliorer la sécurité d'approvisionnement en eau potable. Dans le cas où on épargnerait la bonne ressource superficielle (salinité inférieure à 1,5g/l), seulement 28 % de la ressource superficielle pourraient être alloués au secteur agricole.

Les ressources en eau souterraine sont estimées à 2000 Mm<sup>3</sup>, soit 42,5 % de la totalité des ressources. Celles-ci sont réparties entre 212 nappes phréatiques renfermant 719 Mm<sup>3</sup> par an<sup>1</sup> et 267 nappes profondes. Les nappes profondes ont un caractère fossile et sont très peu renouvelable. Il est estimé que 650 Mm<sup>3</sup> des ressources profondes, localisées principalement dans le Sud, sont non renouvelables.

---

1 DGRE (1998).

**Figure 1 : Répartition géographique de la ressource conventionnelle en Tunisie**

Source : Ministère de l'Agriculture (1998)

L'inégalité de la répartition des ressources touche aussi les ressources souterraines. En effet, les nappes phréatiques et profondes sont distribuées comme suit :

- le Nord possède 55 % des ressources des nappes phréatiques et seulement 18 % des ressources des nappes profondes,
- le centre renferme 30 % des ressources phréatiques et 24 % des ressources profondes,
- le Sud ne renferme que 15 % des ressources phréatiques alors qu'il possède 58 % des ressources profondes.

La qualité des eaux souterraines, jugée selon le niveau de la salinité, est répartie comme suit :

- 8 % avec une salinité de moins de 1,5 g/l, 71 % entre 1,5 et 5 g/l et 21 % supérieure à 5 g/l pour les nappes phréatiques,

- 20 % avec une salinité de moins de 1,5 g/l, 57 % entre 1,5 et 3 g/l et 23 % supérieure à 3 g/l pour les nappes profondes.

Si on admet une salinité jusqu'à 3g/l pour l'usage agricole et la production d'eau potable, environ 36 % des ressources souterraines sont non utilisables pour ces deux secteurs qui sont en demande croissante.

Un autre phénomène, courant en Tunisie, et qui affecte la qualité des eaux, est la sécheresse. En effet, en période de sécheresse, la salinité des eaux stockées dans les retenues de barrages peut atteindre 3,5 g/l. Le déficit en eau est comblé en partie par l'exploitation des nappes souterraines qui servent aussi bien à l'eau potable qu'à l'irrigation. Une situation qui se traduit par le tarissement du niveau des nappes et l'augmentation de la salinité.

Il faut noter que le phénomène de sécheresse se manifeste deux à trois fois tous les 10 ans et peut durer deux à trois voire quatre années successives.

**Tableau 1 : Évolution de la demande en eau**

	1996	2010	2020	2030
Agriculture	2115	2141	2083	2035
Eau potable	290	381	438	491
Industrie	104	136	164	203
Tourisme	19	31	36	41
Total	2528	2689	2721	2770

Source : Ministère de l'Agriculture (1998)

En résumé, le graphique (figure 1) présente la répartition géographique des ressources en eau conventionnelle en Tunisie.

## 1.2 Évolution de la demande en eau

En 1996, on relevait quatre grandes catégories d'utilisation totalisant un volume annuel de 2.528 Mm<sup>3</sup> d'eau. Ces utilisations sont exposées dans le tableau 1.

La demande en eau d'irrigation est de 2115 Mm<sup>3</sup>, soit 84 % des allocations totales. L'agriculture est donc la plus grande consommatrice d'eau. C'est pour cette raison que ce secteur a été principalement concerné par les mesures d'économie d'eau, de valorisation et de rationalisation de la gestion.

Par ailleurs, la demande en eau pour les besoins domestiques, touristiques et industriels ne cesse d'augmenter. Les centres importants de la consommation d'eau se situent sur le littoral à l'Est alors que les ressources en eau sont localisées essentiellement dans le Nord et à l'intérieur de la Tunisie. D'où la nécessité de transfert de l'eau de plus en plus coûteux d'une région à une autre.

La satisfaction de la demande croissante en eau d'une part et le déséquilibre spatio-temporel des ressources en eau en quantité et en qualité d'autre part ont placé la problématique de la rareté de l'eau et de son coût parmi les priorités les plus urgentes pour la Tunisie.

## 2 La stratégie nationale d'économie et de valorisation des eaux

### 2.1 Historique

Depuis les années 1970, des plans directeurs de mobilisation de la ressource spécifique à chacune des régions naturelles du pays sont mis en exécution. Il s'agit des trois plans directeurs de l'utilisation des eaux du Nord, du centre et du Sud. Ces plans ont permis l'établissement d'un chronogramme des ouvrages de mobilisation, le transfert d'eau, l'exploitation mixte des eaux de surface et des eaux souterraines, la protection contre les inondations et la valorisation et l'utilisation des eaux des nappes du Sud.

Au début des années 90, la réalisation de l'étude « Économie de l'eau 2000 », ayant pour objectif fondamental de proposer une stratégie de gestion d'eau permettant de répondre à la demande en eau sur le plan national au cours des prochaines décennies, a fait apparaître les limites d'utilisation de certaines ressources conventionnelles à moyen terme, particulièrement à cause de la salinité. Une stratégie nationale de développement des ressources en eau, permettant d'atteindre à la fois les objectifs de développement économique et social et ceux de préservation de la ressource en eau, a été réalisée en 1991.

En 1990, une stratégie nationale de mobilisation des eaux, ayant pour objectif de mobiliser la totalité des ressources du pays actuellement identifiées de manière à satisfaire les demandes des différents secteurs au cours des prochaines décennies, a été mise en oeuvre. Cette stratégie a permis à la Tunisie de se doter de 23 barrages, 79 barrages collinaires, 497 lac collinaires, 20.000 forages et 50.000 puits de surface équipés. Cette infrastructure a permis la mobilisation de 67 % des eaux mobilisables, soit 3,1 milliards de m<sup>3</sup>. Un taux de mobilisation de 95 % est prévu d'ici 2011.

En 1997, une étude du secteur de l'eau, réalisée par un groupement de bureaux d'études germano-tunisien pour le compte de la direction des ressources en eau DGRE, a traité des thèmes relatifs à l'estimation de la demande, les dépenses publiques,

l'évaluation du suivi, la gestion des nappes, la pollution hydrique, la demande économique de l'eau, les cadres législatifs et institutionnels, la réutilisation des eaux usées traitées et le renforcement des capacités humaines.

## 2.2 La stratégie d'économie d'eau

Face à l'aggravation de son déficit en ressources mobilisables par rapport à ses besoins, le choix stratégique est donc de passer de l'approvisionnement (mobilisation des ressources en eau) à la gestion de la demande à travers les mesures financières, de tarification, techniques, légales et institutionnelles.

La stratégie nationale s'articule autour de trois axes :

- La **gestion de la demande** : il s'agit de conserver la ressource, d'assurer l'efficacité économique, de préserver l'équité sociale par une bonne répartition et de garantir la faisabilité politique.
- La **gestion intégrée** et conjointe des ressources : le recours aux nappes souterraines durant les périodes de sécheresse, la recharge artificielle des nappes phréatiques pour faire face à leur surexploitation et à la dégradation de leur qualité, le recours aux eaux usées épurées et aux eaux saumâtres.
- La **préservation de la ressource et la protection de l'environnement** : conservation quantitative (renforcement et amélioration de la capture et du stockage) et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes (réduction de la pollution des cours d'eau, et des nappes) et suivi de l'évaluation des coûts.

En ce qui concerne la gestion de la demande en eau, des taux d'économie sont fixés par secteur d'activité et réalisable d'ici 2010 :

- 30 % pour l'agriculture par amélioration des systèmes d'irrigation, réhabilitation de l'équipement hydraulique, modernisation des réseaux de distribution, etc.,

- 20 % pour l'industrie : par recyclage, amélioration des processus de production et l'introduction de technologies propres,
- 27 % dans le secteur de l'eau potable par la modernisation des réseaux d'adduction et de distribution.

En ce qui concerne la gestion intégrée et la préservation de la ressource, le gouvernement s'est fixé les objectifs suivants :

- la réutilisation des eaux usées épurées (allant jusqu'à 50 %),
- l'évaluation du potentiel de recharge de la nappe,
- la promotion de la réutilisation dans le secteur industriel,
- le dessalement des eaux saumâtres et salées,
- L'utilisation des espèces agricoles avec plus grande tolérance à la salinité,
- La prévention contre la pollution hydrique.

L'approche adoptée pour l'économie de l'eau en irrigation s'est concrétisée en appliquant les réformes suivantes :

- l'amélioration de l'efficacité des réseaux collectifs d'irrigation et ce à travers des programmes de maintenance, de réhabilitation et de modernisation des systèmes d'eau ;
- la généralisation de l'utilisation des techniques d'irrigation à meilleur rendement comme l'aspersion et le goutte à goutte; il est prévu d'équiper 90 % des périmètres irrigués (soit 360.000 ha sur 400.000 ha au total) par des systèmes d'économie d'eau ;
- la mise en place d'un système de tarification de l'eau d'irrigation suivant des tarifs graduellement croissants permettant d'inciter les utilisateurs à des économies d'eau ;

**Tableau 2 : Programme de mobilisation globale des ressources en eau en Mm<sup>3</sup>/an**

	Ressources exploitables			
	1996	2010	2020	2030
Ressources conventionnelles	2647	3090	2792,5	2732,5
Ressources non conventionnelles	120	210	314	389
Total	2767	3300	3106,5	3121,5

Source : Ministère de l'Agriculture (1998)

- une participation plus active des Associations d'Intérêts Collectifs (AIC) à la gestion des périmètres irrigués et à l'effort d'équipement pour l'économie de l'eau et ce, par des campagnes de sensibilisation et de vulgarisation.

Les encouragements à l'utilisation des techniques d'économie d'eau englobent le recouvrement de 60 % des frais engagés par les agriculteurs : 20 % du montant sous forme de subvention et 40 % sous forme de prêt.

Un effort est également fourni pour la réduction des pertes dans les réseaux de l'eau potable. Le taux de desserte en eau potable en zone urbaine est proche de 100 % et en zone rurale est de 77 %. L'infrastructure hydraulique est sujette à des pertes d'eau au niveau du réseau d'adduction et de distribution. Diverses actions ont été entreprises pour le suivi des volumes d'eau produits, distribués et consommés à travers :

- le comptage,
- la régulation et la télémesure,
- la recherche des fuites,
- la réhabilitation du réseau et des branchements,
- la sensibilisation des utilisateurs.
- En ce qui concerne la consommation en eau potable, une tarification progressive a été adoptée pour réduire le gaspillage et rationaliser l'utilisation de l'eau.

### 2.3 Le recours à l'eau non conventionnelle

En se basant sur les tableaux 1 et 2, en effectuant un simple bilan hydrique pour l'horizon 2010 entre le volume total mobilisable de la ressource conventionnelle estimé à 3090 Mm<sup>3</sup> par an et la demande globale estimée à 2689 Mm<sup>3</sup> on constate que la ressource atteint ses limites dans le futur proche. Les ressources exploitables étant les mêmes, si ce n'est pas un peu moins, du point de vue de l'exploitation du volume non renouvelable et de la diminution des capacités de stockage dans les barrages par le phénomène d'envasement, l'eau devient un facteur limitant au développement face à l'augmentation de la demande. Ainsi la Tunisie se trouvera en situation de tension hydrique dans le futur proche.

Face à l'augmentation de la demande en eau potable urbaine et rurale, estimée à 491 Mm<sup>3</sup> en 2030 (381 Mm<sup>3</sup> en 2010), et à la croissance de la demande industrielle avec un taux d'accroissement annuel moyen de 2 %, le recours à des ressources non conventionnelles est devenu une nécessité afin de combler le déficit hydrique entre la ressource conventionnelle de 2.732,2 Mm<sup>3</sup> et la demande totale de 2.770 Mm<sup>3</sup> en 2030.

La stratégie tunisienne à moyen terme fait recours aux ressources en eau non conventionnelle et à partir :

- de la réutilisation des Eaux Usées Traitées (EUT),
- du dessalement des eaux saumâtres,
- de la recharge artificielle des nappes.

Le recours aux eaux usées épurées constitue une opportunité importante pour la satisfaction d'une partie des besoins des secteurs de l'agriculture irriguée, de l'industrie et du tourisme. Cette ressource peut contribuer à raison de 6,3 % pour l'an 2010 et 12,4 % pour l'an 2030. Elle constitue une ressource non négligeable des ressources en nappes phréatiques représentant un équivalent d'environ 30 %.

Avec le développement urbain d'une part, et l'augmentation de la demande en eau d'autre part, le volume des eaux épurées s'élèvera en conséquence. Par ailleurs, l'utilisation des EUT présente plusieurs avantages dont :

- l'économie des ressources en eau conventionnelle et son utilisation dans d'autres secteurs plus exigeants en terme de qualité ;
- la protection des milieux récepteurs en particulier le littoral, le milieu naturel et les ouvrages hydrauliques (barrages) contre une eau riche en nutriments ;
- la préservation de certaines zones humides en manque d'eau ;
- la stabilité de la ressource par rapport à celle liée à la pluviométrie ;
- la réduction des quantités d'engrais utilisés en agriculture si les agriculteurs prennent en compte cet aspect.

La stratégie tunisienne pour la promotion de la réutilisation ainsi que l'état des lieux en Tunisie seront traités dans un volet à part.

Le dessalement des eaux saumâtres pour l'eau potable a déjà commencé dans certaines régions de Tunisie. Le dessalement se fait à partir d'eau souterraine saumâtre dont la salinité est inférieure à 10 g/l. Il existe trois stations de dessalement en Tunisie :

La station de dessalement de Kerkennah : réalisée en 1984, elle fut la première unité de dessalement en Tunisie. Elle a une capacité de 3300 m<sup>3</sup>/j.

La station de dessalement de Gabes : mise en service en Juin 1995, elle a une capacité de 22.500 m<sup>3</sup>/j en première phase et 30000 m<sup>3</sup>/j en phase finale.

Stations de dessalement de Jerba et Zarzis : mise en service en 1999, et ayant chacune une capacité de 12.000 m<sup>3</sup>/j.

La recharge artificielle qui a débuté en 1992 concerne une douzaine de nappes, et représente environ 100 Mm<sup>3</sup> par an. Elle s'effectue à partir des techniques de conservation des eaux et des sols (à travers le long des lits des oueds à forte perméabilité, à travers des bassins aménagés pour cet objectif et par épandage des crues) par injection directe des ressources en eau de surplus dans des forages et des puits. Les ressources en eau ainsi infiltrées permettent non seulement d'augmenter le volume stocké, mais aussi de lutter contre l'intrusion saline dans les nappes côtières.

## 2.4 La stratégie pour la promotion de la réutilisation des EUT

L'étude stratégique du secteur de l'eau, élaborée par le Ministère de l'Agriculture en 1999 a visé l'optimisation de la gestion de la ressource ; Parmi les thèmes étudiés dans cette stratégie, le thème 9 qui concerne la promotion de la réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole ou autres.

La mise en place de cette stratégie s'est basée pour cela sur les critères suivants :

- préservation de la santé publique et de l'environnement ;
- promotion de la réutilisation des eaux usées traitées sur la base d'une demande réelle en eau, des normes de qualité appropriées pour les divers usages prévus ;
- une réglementation pertinente qui incitera tous les usagers des eaux usées traitées à se conformer aux diverses exigences liées à cette pratique et à effectuer un suivi sanitaire régulier ;
- un contrôle efficace sur tous les usages ;
- un coordinateur unique responsable de tous les aspects relatifs à la réutilisation des EUT.



**Tableau 3 : Nombre d'habitants des communes prises en charge par l'ONAS**

Nombre d'habitants par commune	Nombre de communes prises en charge par l'ONAS	Pourcentage
> 100.000	8	100 %
De 50.000 à 100.000	18	100 %
De 10.000 à 50.000	91	83 %
De 5.000 à 10.000	25	36 %
< 5.000	2	4 %

Source : ONAS (2002b)

Les objectifs donc fixés pour le X<sup>ème</sup> plan de développement sont :

- un taux de réutilisation des eaux épurées de 60 % pour tous usages ;
- une superficie irriguée par les eaux usées épurées de 22.000 ha.

Pour ce faire, la stratégie pour la promotion de la réutilisation des EUT se base sur deux orientations principales, à savoir :

- la substitution des eaux conventionnelles par les eaux usées traitées au niveau des activités consommatrices d'eau ;
- la création d'une nouvelle demande avec des projets stratégiques initiés par le gouvernement dans une planification à long terme.

La mise en œuvre de cette stratégie porte principalement sur l'application des certaines mesures à prendre en compte sous les aspects suivants :

- a) Le renforcement du cadre législatif et institutionnel en appliquant les mesures suivantes :
- renforcer la législation existante afin de préciser la qualité des eaux et les modalités de réutilisation des eaux usées traitées ;
  - identifier et clarifier les responsabilités de chacun des intervenants dans la réutilisation ;
  - mettre en place des mesures institutionnelles et organisationnelles en vue d'une relation contractuelle entre les fournisseurs et les bénéficiaires des eaux usées traitées.

- centraliser autour d'un coordinateur toutes les opérations qui ont trait à la réutilisation.

b) Le contrôle de qualité :

- La supervision et le contrôle environnemental et sanitaire couramment appliqués doivent se poursuivre dans le but de garantir un contrôle précis des performances de chaque projet de réutilisation ;
- la mise en place d'un cadre réglementaire qui responsabilise les industries polluantes en effectuant des analyses régulières sur la qualité.

- c) L'intégration de la réutilisation des EUT dans la gestion des ressources en eau, en développant de nouveaux usages des eaux usées traitées et en diversifiant ses filières. Dans une optique de préservation et de valorisation des EUT, La gestion des eaux usées traitées doit se faire à la source. A cet effet, l'ONAS doit veiller à la qualité des rejets des eaux usées à l'amont des STEP et intégrer les opportunités de réutilisation des eaux usées traitées. Du point de vue technique, des solutions doivent être créées pour augmenter les volumes de stockage inter-saisonnier (au niveau des périmètres alimentés par les grandes STEP. Ceci pourra être réalisé par le biais de :

- réservoirs de surface,
- stockage souterrain.

- d) L'aspect économique doit répondre à une réelle demande en eau en quantité mais surtout en qualité. Les projets spécifiques à réaliser doi-

vent être économiquement justifiés et mis en oeuvre cas par cas. La réutilisation agricole serait très intéressante au cas où les eaux usées traitées subiraient un traitement complémentaire. Toutefois, il en ressort que le coût actuel des eaux de barrage est beaucoup moins élevé que le coût d'un traitement tertiaire (40 Millimes/m<sup>3</sup> contre 50–150 Millimes/m<sup>3</sup>). Pour ces raisons, le niveau de traitement des eaux usées doit être dépendant de son utilisation.

### 3 Etat d'assainissement en Tunisie en tant que point de départ pour la réutilisation des eaux

#### 3.1 Etat des lieux

L'Office National d'assainissement ONAS a été créé en 1974, ses attributions ont été modifiées par la loi 93-41 du 19 avril 1993. Il est actuellement chargé de :

- la lutte contre les sources de pollution hydrique dans les zones déterminées par décret ;
- la gestion, l'exploitation, l'entretien, le renou-

vellement et la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des villes ;

- la promotion de la distribution et de la vente des eaux épurées, des boues provenant des stations d'épuration et de divers sous-produits ;
- la réalisation de projets d'études et de travaux d'assainissement.

A travers des programmes de priorité pour protéger les zones touristiques, les grandes villes et puis les villes de petites et moyennes tailles, l'ONAS possède un parc de station d'épuration assez important.

L'ONAS est en train de mettre en oeuvre un programme de délégation aux opérateurs privés des activités d'exploitation de réseau d'assainissement (10 % de participation du secteur privé). Une importante opération sous forme de BOT est également prévue pour la station de Tunis Ouest avec un coût de projet estimé à 200 millions de DT.

Selon son rapport d'activité pour l'année 2001, l'ONAS gère 61 stations d'épuration en fonctionnement traitant un volume de 169 Mm<sup>3</sup> sur une capacité totale de 218 Mm<sup>3</sup> et 12 stations d'épuration en cours de construction ou d'équipement avec une capacité de 35.155 m<sup>3</sup>.

Indicateurs	1999	2001
Nombre d'habitants (en millions) pris en charge par l'ONAS	5,1	5,3
Nombre d'abonnement au réseau ONAS (en milliers)	835	990
Taux de branchement dans les zones prises en charge par l'ONAS (%)	68	80
Taux de branchement pour tout le territoire (%)	43	51
Nombre de communes prise en charge	142	144
Linéaire de conduite dans les ZPG (Km)	9000	10250
Nombre de stations de pompage	385	455
Nombre de stations de traitement (STEP)	60	61
Volume d'eau potable distribuée	192	210
Volume d'eau usée collectée (en Mm <sup>3</sup> )	163	196
Volume d'eau usée traitée E.U.T. (en Mm <sup>3</sup> )	135	169
Pourcentage d'eau usée traitée	82 %	88 %
Source : ONAS (2002b)		

35 Mm<sup>3</sup> parmi 169 Mm<sup>3</sup> d'EUT, soit environ 20 %, ont été réutilisés pour irriguer 7400 ha, répartis sur 6600h de terres agricoles, 600 ha de terrains de golfs, et 200 ha d'espaces verts et récréatifs.

Le nombre de communes prises en charge par l'ONAS est de 144 sur un total de 260 communes soit 55 % des communes. La population raccordée est estimée à 5330 habitants, soit 86 % des habitants communaux et 51 % de la population totale. Le taux de raccordement est supérieur à 77 % dans le Nord et le Nord Est du Pays, entre 67 et 69 % dans le Nord-Ouest et le centre de l'Est, et inférieur à 50 % dans le centre de l'Ouest et dans le Sud.

L'importance du nombre d'habitants dans les communes prises en charge par l'ONAS est précisée dans le tableau ci-dessus :

Près de 88 % des eaux usées collectées sont traitées par différents types de procédés de traitement répartis comme suit :

- 44 stations à boues activées (78,7 % des volumes) ;
- 3 stations à lits bactériens (5,1 % des volumes) ;
- 14 stations à lagunage (16,2 %).

Les différents types de traitement sont donnés en annexe. Les eaux brutes traitées dans les stations d'épuration sont constituées essentiellement des :

- eaux usées d'origine domestique (74 %) ;

- eaux usées d'origine touristique (9 %) ;
- eaux usées d'origine industrielle (17 %).

Les stations d'épuration traitent principalement la pollution organique. Un taux de rabattement d'environ 90 % de la charge organique est rapporté dans les documents de l'ONAS. Seulement 5 stations d'épuration assurent le traitement tertiaire qui consiste à la dénitrification et l'élimination de phosphate. Ces stations traitant 4,8 % des eaux usées, sont conçues pour protéger la retenue de barrages de Sidi Salem (capacité de 770 Mm<sup>3</sup>) et certaines zones touristiques. Par ailleurs, nous présentons dans le tableau 4 certains indicateurs de l'activité de l'ONAS.

### 3.2 Redevance de l'assainissement

Le système tarifaire actuel de l'assainissement est progressif selon l'usage et la tranche de consommation d'eau. Trois catégories d'usage sont énumérées :

- Domestique (ménages, commerce, public et industrie) : la redevance est basée sur le volume d'eau consommé.
- Tourisme (hôtellerie) : la redevance est basée sur le volume d'eau utilisée.
- Industriel : la redevance est basée sur le volume d'eau consommé à partir du réseau de la SO-NEDE ou à partir d'une autre source et de la

Tranche	VARIABLE					FIXE
en m <sup>3</sup>						
0-2	0.017					1.310
21-40	0.021	0.155				1.410
41-70	0.219	0.219	0.219			3.860
71-150	0.219	0.219	0.219	0.424		7.600
150 et plus	0.219	0.219	0.219	0.424	0.468	7.820
	20 m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>	30 m <sup>3</sup>	70 m <sup>3</sup>	> 150 m <sup>3</sup>	

Source : Arrêté des ministres des finances et de l'environnement et de l'aménagement du territoire en date du 30 juillet 1997, relatif aux redevances d'assainissement

**Tableau 6 : Redevance de l'assainissement pour l'usage industriel en DT**

Critère	DBO <sub>5</sub>	DCO	MES	Tarifs par m <sup>3</sup>	Fixe
Pollution faible	<1000	25	30	0.490	7.880
Pollution moyenne	<1000	400	400	0.653	7.880
Pollution forte	<1000	>400	>400	0.769	7.880

Source : Arrêté des ministres des finances et de l'environnement et de l'aménagement du territoire en date du 30 juillet 1997, relatif aux redevances d'assainissement

qualité des eaux résiduaires rejetées. La qualité du rejet est classée en trois catégories de facturation : faible pollution, moyenne pollution et forte pollution.

- les usagers domestiques présentent 98 % des abonnés et contribuent à raison de 70 % du volume d'eau traitée. Une tarification progressive qui dépend du volume d'eau consommée est appliquée en considérant cinq tranches de consommation en m<sup>3</sup> par trimestre. Le tableau 5, sous forme de schéma, présente le mode de facturation de l'ONAS en dinars tunisiens (DT) en application depuis 1998.

La redevance d'assainissement pour l'usage touristique est uniforme comprenant une charge fixe de 7.880 DT et 0.926 DT le mètre cube consommé.

Les tarifs appliqués à l'industrie dépendent du degré de pollution définie selon la charge organique. Le tableau 6 illustre la tarification industrielle.

Toutefois, ce système tarifaire ne permet pas la couverture des coûts moyens de l'exploitation. En effet, l'ONAS recouvre à raison de 70 % de l'usage domestique, 85 % pour l'usage industriel et 90 % pour l'usage touristique.

### 3.3 Qualité des eaux usées traitées

Les eaux usées traitées doivent répondre à la norme NT 106.02, homologuée le 20 juillet 1989, avant rejet en milieu hydrique. Cette norme a défini la qualité de l'effluent en fonction du milieu récepteur, qu'il soit maritime, public hydraulique ou à canalisations publiques sans tenir compte de ses particularités.

Elle a défini les seuils de rejet de 54 paramètres (paramètres physico-chimiques, paramètres bactériologiques, plusieurs métaux lourds, et quelques micro-polluants organiques : hydrocarbures, pesticides, PCB/PCT, et phénols) – voir tableau 7 –.

D'une part, l'ONAS est tenu de déverser des rejets en conformité avec la norme, et d'autre part, il a le droit de refuser systématiquement le branchement à son réseau d'un effluent qui ne répond pas à la norme NT106.002.

L'ONAS rapporte que le rendement épurateur varie selon le type de procédé de traitement appliqué. De point de vue élimination de traitement organique, les procédés intensifs à boues activées ou à lits bactériens sont en moyenne les plus performants donnant une charge moyenne de 24 mg/l pour la DBO<sub>5</sub>, 85 mg/l pour la DCO et 26mg/l pour les MES. En ce qui concerne la qualité micro-biologique, les EUT présentent une charge supérieure à 10<sup>5</sup> coliformes<sup>2</sup>.

Le traitement par procédés de type lagunage permet une meilleure réduction de la charge micro-biologique (10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup>) alors qu'il est moins performant pour la réduction de la pollution organique (DBO<sub>5</sub> = 60 mg/l, DCO = 206 mg/l et MES = 50 mg/l). En ce qui concerne la qualité micro-biologique, la qualité des EUT est mauvaise voire très mauvaise.

En outre, elle ne satisfait pas la norme de rejet dans un milieu naturel qui est de 2.000 unités fécales par 100 ml. En effet, pour certains types de traitement, le dénombrement des germes fécaux dans les effluents des STEP est 100 fois supérieur à la norme NT 106.02.

2 voir El Koundi (2002).

En comparaison avec les critères de qualité d'eau, souvent utilisés pour la pratique d'activité récréative de contact primaire (baignade) qui est de 200 UFC/100ml, et secondaire (pêche, etc.) qui est de 1000 UFC/100ml, les effluents des STEP sont de

mauvaise qualité et nécessitent d'une part un traitement poussé et coûteux pour la production d'eau potable, et d'autre part des précautions particulières pour l'abreuvement des bovins à l'immédiat aux points de déversement des STEP.

**Tableau 7 : NT 106.02 normes de rejets**

Paramètres	Expression des résultats	Milieu hydraulique	Canalisations publiques ONAS
Température mesurée au moment du prélèvement	en degré Celsius °C	< 25°C	< à 35°C
PH		6.5<pH<8.5	6.5<pH<9
Couleur	mg/l Echelle au platine cobalt	70	Fixer selon le cas
Calcium : Ca	mg/l	500	Fixer selon le cas
Chlorures : Cl	mg/l	600	700
Fluorures dissous : F	mg/l	3	3
Magnésium : Mg	mg/l	200	300
Potassium : K	mg/l	50	50
Sodium : Na	mg/l	500	1000
Sulfate : SO <sub>4</sub>	mg/l	600	400
Sulfures : S	mg/l	0,1	3
Matières en suspension : MES	mg/l	30	400
Matières décantables	mg/l après 2 heures	0,3	
Demande biochimique en oxygène : DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	30	400
Demande chimique en oxygène : DCO	mg/l	90	1000
Azote ammoniacal et organique	mg/l	1	100
Nitrates : NO <sub>3</sub>	mg/l	50	90
Nitrites : NO <sub>2</sub>	mg/l	0,5	10
Phosphore PO ou P total 4	mg/l	0,05	10
Détergents anioniques du type alkyl Benzène sulfanate (ABS)	mg/l	0,5	5
Graisses et huiles saponifiables	mg/l	10	30
Phénols	mg/l	0,002	1
Hydrocarbures aliphatiques totaux	mg/l	2	10
Solvant chlorés	mg/l	absent	0,1
Bioxyde de chlore : ClO <sub>2</sub>	mg/l		0,05
Chlore actif : Cl <sub>2</sub>	mg Cl <sub>2</sub> /l	0,05	1
Aluminium : Al	mg/l	5	10
Antimoine : Sb	mg/l	0,1	0,2
Argent : Ag	mg/l	0,05	0,1
Arsenic : As	mg/l	0,005	0,1
Baryum : Ba	mg/l	0,5	10
Beryllium : Be	mg/l	0,01	0,05

<b>Tableau 7 : NT 106.02 normes de rejets (suite)</b>			
Bore : B	mg/l	2	2
Cadmium : Cd	mg/l	0,005	0,1
Chrome hexavalent : Cr6	mg/l	0,01	0,5
Chrome trivalent : Cr <sup>3</sup>	mg/l	0,5	2
Cobalt : Co	mg/l	0,1	0,5
Cuivre : Cu	mg/l	0,5	1
Cyanures : CN	mg/l	0,05	0,5
Etain : Sn	mg/l	2	2
Fer : Fe	mg/l	1	5
Manganèse : Mn	mg/l	0,5	1
Mercure : Hg	mg/l	0,01	0,01
Molybdène : Mo	mg/l	0,5	5
Nickel : Ni	mg/l	0,2	2
Plomb : Pb	mg/l	0,1	1
Sélénium : Se	mg/l	0,05	1
Titane : Ti	mg/l		0,01
Zinc : Zn	mg/l	5	5
<b>Bactériologiques</b>			
Coliformes fécaux	Par 100ml	2000	
Stréptocoques fécaux	Par 100ml	1000	
Salmonelles	Par 5 L	absent	
Vibrions cholériques	Par 5 L	absent	
Source : INNORPI (1989a)			

Une étude de la contamination bactérienne a été réalisée par le laboratoire microbiologie du centre de recherche du génie rural pour la station d'épuration de la Charguia. Cette étude a montré que la concentration en germes fécaux à la sortie de la station est de l'ordre de  $10^6$  coliformes fécaux par 100 ml et de  $10^5$  streptocoques fécaux par 100 ml. En plus, la charge bactérienne présente des fluctuations journalières et saisonnières.

Le traitement secondaire, que se soit biologique ou physico-chimique, n'opère pas d'élimination appréciable des germes. Seul le traitement complémentaire permet le passage de  $10^6-10^7$  à  $10^3-10^2$  coliformes par 100 ml. La présence de ces concentrations en bactéries dans les EUT implique donc une certaine probabilité d'existence de germes pathogènes pour l'homme et les animaux. Le rendement

épuration en pourcentage de la DBO<sub>5</sub> selon le type de procédés est présenté dans le tableau 8 :

Par ailleurs, la comparaison des EUT issues d'une dizaine de stations d'épuration (Cherguia, Choutrana, Côtière Nord, Sud Méliane, Nabeul SE4, Sousse Nord, Sousse Sud, Monastir, Kairouan et Sfax) a montré que la qualité chimique des eaux diffère d'une station à une autre en fonction de la qualité de l'eau d'alimentation, de l'infiltration d'agents pathogènes dans le réseau, du site de la station de traitement, de la proportion des eaux industrielles par rapport aux eaux domestiques et de la filière de traitement.

Type de traitement	Rendement en % de la DBO <sub>5</sub>
Chenaux d'oxydation	96
Lits bactériens	94
Boues activées	92
Lagunages	84
Source : El Koundi (2002)	

Le dépouillement des données obtenues sur le rendement épurateur de 5 STEP s présenté dans le tableau 9 pour une période de 4 ans, c'est-à-dire de 1997 à 2000, nous permet de faire les remarques suivantes, à l'exception de la STEP de Béja dont les rejets ne sont pas conformes, presque le 1/5 de l'année à la norme en raison du raccordement de la brasserie de Béja :

- le rendement moyen d'épuration varie entre 87 et 96 % ;
- le nombre de jours dépassant la norme pour la DBO<sub>5</sub> varie entre 4 et 15 jours par an ;
- le nombre de jours dépassant la norme pour la DCO varie entre 6 et 19 ;
- le nombre de jours dépassant la norme pour les MES varie entre 3 et 41.

Sur le plan de réduction de la charge organique, un effort supplémentaire est nécessaire pour mieux optimiser le rendement épurateur en fonction des informations relatives aux caractéristiques des eaux usées à l'entrée.

STEP	Système de traitement
Jendouba	Aération prolongée
Bou Salem	"
Béja	"
Siliana	"
Teboursouk	"
Medjez El Bab	"
Source : ONAS (2002b)	

La salinité des EUT diffère d'une STEP à une autre selon le mode de traitement, l'étanchéité du réseau d'assainissement et la qualité d'eau potable. On estime que la concentration en sels dans les eaux usées domestiques excède à celle de l'eau potable de 200 à 300 mg/l. La moyenne annuelle en résidus secs dans les EUT varie entre 1 et 15 g/l. Les STEP dans la région du Nord Ouest du pays possèdent la meilleure qualité en terme de salinité (entre 1 et 1,5 g/l). Par ailleurs, le résidu sec varie entre 2,8 et 6 g/l pour le grand Tunis, 1,6 et 2,6 g/l pour le Nord Est, 1,8 et 4,6 g/l pour le centre et le Sahel à l'exception de la station de Mahdia dont les effluents sont de 15,1 g/l.

## 4 Utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation – cadres et projets

### 4.1 Cadre politique, institutionnel et réglementaire

#### 4.1.1 Cadre politique

Dans le but de porter le taux d'utilisation des EUT dans l'irrigation de 21 % actuellement à plus de 50 % à l'horizon 2006, il a été décidé lors du Conseil Ministériel Restreint du 21 décembre 2000 de généraliser le traitement complémentaire dans les nouvelles stations d'épuration, d'introduire ce procédé progressivement dans les stations existantes après réalisation des études sociales, économiques et techniques, et de mettre en place un programme parallèle pour la création de réseaux d'acheminement des EUT vers les zones de consommation d'eau d'irrigation tout en garantissant les conditions de sécurité sanitaire et un contrôle rigoureux.

Lors du Conseil Ministériel Restreint du 21 Juin 2001, il a été décidé de prendre plusieurs dispositions afin d'atteindre un taux d'économie d'eau de 30 % et de mettre à disposition 7 % des eaux non conventionnelles. Plusieurs mesures ont été arrêtées afin de doter toutes les zones irriguées en équipements appropriés pour l'économie d'eau et d'inciter les industriels à recourir aux sources de substitution dans le circuit de production. Ces mesures consis-

tent en (1) l'octroi de subvention spécifique à concurrence de 50 % avec un plafond de 2500 DT pour les opérations d'audit obligatoires des systèmes d'eau (2) l'octroi de subvention spécifique à concurrence de 20 % avec un plafond de 15.000 DT aux investissements réalisées par les petites et moyennes entreprises visant la recherche, la production et la commercialisation des ressources non conventionnelles ainsi que l'économie d'eau (3) l'octroi des avantages tels qu'autorisés par le code d'investissement aux activités d'audit et d'expertise en économie d'eau (4) instaurer une subvention de 20 à 30 % pour le renouvellement des équipements d'économie d'eau et (5) instaurer des normes obligatoires pour les équipements de distribution des eaux.

#### 4.1.2 Cadre réglementaire

*«L'eau constitue une richesse nationale qui doit être développée, protégée et utilisée d'une manière garantissant la durabilité de la satisfaction de tous les besoins des citoyens et des secteurs économiques».*<sup>3</sup>

La réglementation tunisienne concernant la réutilisation des EUT a commencé par la promulgation du code de l'eau<sup>4</sup> qui a interdit en partie l'utilisation des eaux usées brutes et l'utilisation des EUT pour l'irrigation ou l'arrosage des cultures consommables crues. L'utilisation des EUT pour d'autres cultures est conditionnée par l'autorisation du Ministère de l'agriculture.

L'article 86 de la Loi 2001–116 du 26 novembre 2001 du code de l'eau considère la réutilisation des EUT à des fins de production et de services en tant que ressources hydrauliques d'utilité publique.

Le **décret 85–86 du 2 Janvier 1985** a réglementé les rejets des eaux usées dans le milieu récepteur et a fixé les conditions générales des rejets.

**Le décret n° 93–2447 du 13 décembre 1993**, modifiant le décret no. 89–1047 du 28 juillet 1989, a fixé les conditions d'utilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles stipulant l'obligation d'une autorisation préalable, la fréquence des analyses à effectuer et la nécessité de bonne gestion afin d'éviter les impacts négatifs. En résumé, les 12 articles du décret sont les suivants :

- Article 1 : indique que l'utilisation des EUT à des fins agricoles sont soumises à une autorisation du ministre de l'agriculture après accord des ministres de l'environnement et de l'aménagement du territoire et de la santé publique.
- Article 2 : stipule que les EUT doivent répondre aux normes d'utilisation fixées par la norme NT 106.03.
- Article 3 : fixe la fréquence des analyses physico-chimiques et bactériologiques comme suit:

Une fois par mois au minimum des échantillons moyens composés de prélèvements effectués sur 24 heures en vue des analyses physico-chimiques suivantes : PH, DBO<sub>5</sub>, DCO, MES, Cl, Na, NH<sub>4</sub> et conductivité électrique. Une fois par semestre au minimum des échantillons moyens composés de prélèvement effectués sur 24 heures en vue des analyses chimiques suivantes : Arsenic, bore, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, fer, fluorures, manganèse mercure, nickel, organochlorés, sélénium, plomb, zinc. Une fois tous les 15 jours des échantillons moyens composés de prélèvement effectués sur 24 heures en vue de la recherche des œufs de parasites.

- Article 4 : met à la charge des organismes distributeurs la réalisation des analyses.
- Article 5 : interdit l'irrigation des cultures maraîchères et des crudités.
- Article 6 : interdit le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les EUT.
- Article 7 : limite l'utilisation des EUT à une liste de culture à condition qu'aucune autre culture ne soit contaminée.
- Article 8 : affecte le contrôle biologique et physico-chimique des cultures irriguées par EUT au Ministre de la Santé publique

<sup>3</sup> Extrait de l'article 86 de la Loi 2001–116 du 26 novembre 2001 modifiant le code des eaux promulgué par la loi 75–16 du 31 mars 1975.

<sup>4</sup> Loi No. 75–16 du 31 mars 1975.



<b>Tableau 10 : Norme NT 106.03</b>			
<b>Paramètres</b>	<b>Unité</b>	<b>Concentration maximale</b>	<b>FAO</b>
pH		Entre 6,5 et 8,5	
Conductivité	us/cm	7000	
DCO	mg O <sub>2</sub> /l	90	
DBO <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	30	30
MES	mg/l	30	30
Chlorures	mg/l	2000	
Fluorures	mg/l	3	1
Organochlorés	mg/l	0,001	
Arsenic	mg/l	0,1	0,1
Bore	mg/l	3	3
Cadmium	mg/l	0,01	0,01
Cobalt	mg/l	0,1	0,05
Chrome	mg/l	0,1	0,1
Cuivre	mg/l	0,5	0,2
Fer	mg/l	5	5
Manganèse	mg/l	0,5	0,2
Mercurure	mg/l	0,001	
Nickel	mg/l	0,2	0,2
Plomb	mg/l	1	5
Sélénium	mg/l	0,05	0,02
Zinc	mg/l	5	2
Oeufs de nématodes intestinaux		< 1/1000ml	
Source : INNORPI (1989b)			

- Article 9 : oblige l'installation de plaque sur les robinets des EUT.
- Article 10 : mentionne l'éloignement des périmètres irrigués par aspersion par rapport aux agglomérations et puis des surfaces destinées à l'alimentation en eau potable.
- Article 11 : interdit les stagnations d'eau, les mauvaises odeurs, les gîtes larvaires et la con-

tamination de la nappe souterraine occasionnés par l'irrigation des EUT.

- Article 12 : réglemente les modalités d'application à chaque utilisation par un cahier de charge.

La norme tunisienne NT 106.03 de Juin 1989 relative à l'utilisation des EUT à des fins agricoles a été élaborée sur la base des recommandations de la FAO et de l'OMS. Les spécifications physico-chimiques et bactériologiques sont mentionnées dans le tableau 10.

La norme tunisienne est moins sévère par rapport à FAO pour le cobalt, le cuivre, le manganèse, le sélénium et le zinc alors qu'elle est plus sévère pour le plomb.

Du point de vue micro-biologique, la NT 106.03 ne prend en compte que le nombre d'œufs de nématodes. Par contre, l'OMS recommande un taux de coliformes fécaux inférieurs à 1000 unité/100 ml pour l'irrigation des terrains de sport et des jardins publics et une directive plus stricte de 200 unités par 100 ml pour les lieux avec lesquels le public pourrait avoir un contact direct comme par exemple les pelouses.

L'arrêté du 21 Juin 1994 du Ministère de l'Agriculture fixe la liste des cultures qui peuvent être irriguées par les EUT comme suit :

- les cultures industrielles dont le coton, le tabac, le lin, le jojoba, le ricin, et le carthame ;
- les cultures céréalières dont le blé, l'orge, le triticale et l'avoine ;
- les cultures fourragères dont le bersim, le maïs, le sorgho fourrager et la vesce ;
- les arbres fruitiers dont les dattiers, les agrumes et les vignes à condition qu'ils ne soient pas irrigués par aspersion ;
- les arbustes fourragers dont l'acacia et l'atriplex ;
- les arbres forestiers ;

- les plantes florales à sécher ou à usage industriel dont le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin.

Par ailleurs, le cahier des charges prévoit une série de mesures de prévention pour le stockage et la distribution des EUT, les pratiques de gestion et la protection des ressources en eau souterraine et de surface. En ce qui concerne les agriculteurs, ils sont obligés de mettre une tenue de travail réservée à la manipulation des EUT, de se vacciner contre le tétanos et d'effectuer un examen médical annuel à leur charge.

#### 4.1.3 Cadre institutionnel

Le cadre institutionnel pour la gestion des eaux usées traitées fait intervenir principalement quatre types d'opérateurs :

##### (A) *Le producteur des EUT*

Il se trouve que L'ONAS est le producteur des eaux usées traitées. Il a pour mission de promouvoir la distribution et la vente des eaux épurées, des boues provenant des stations d'épuration et de tous autres sous-produits.

##### (B) *Les contrôleurs*

Plusieurs acteurs de contrôle pour la réutilisation des EUT dont principalement le ministère de la santé publique pour le contrôle sanitaire des exploitants et de la population riveraine des périmètres irrigués ainsi que des produits, activités tenues par les services de la Direction de l'Hygiène du Milieu et de la Protection de l'Environnement (DHMPE) et par l'Agence Nationale de Contrôle Sanitaire et Environnemental des Produits (ANCSEP) et le ministère de l'agriculture, de l'environnement et des ressources hydrauliques à travers l'ANPE :

La DHMPE est chargée de la supervision des conditions d'hygiène, de l'évaluation, du contrôle, de l'assistance technique, de la sensibilisation du public et de la recherche. Elle veille à éviter les risques sanitaires dus à la présence de composés chimiques, toxiques ou de germes infectieux. En

vue d'examiner leur état d'hygiène, elle contrôle les conditions d'utilisation des EUT par les utilisateurs et par la population environnante de même qu'elle intervient pour le contrôle sanitaire des eaux traitées, des distributeurs d'eau ainsi que pour celui du secteur agricole utilisant les EUT.

L'Agence Nationale de Contrôle Sanitaire et Environnemental des Produits (ANCSEP), créée en 1999<sup>5</sup> comme un établissement public sous la tutelle du ministère de la santé publique, a pour mission de (1) veiller au respect de la réglementation et des normes nationales et internationales en matière de contrôle sanitaire et environnemental des produits, (2) de prendre les décisions concernant les applications des normes et des règles en vigueur et notamment celles relatives aux procédés et aux résultats des analyses, (3) de contribuer à la formation et à l'information en matière de contrôle sanitaire et environnemental des produits.

L'Agence Nationale de Protection de l'Environnement (ANPE), créée en 1992<sup>6</sup> sous tutelle du Ministère de l'Agriculture de l'Environnement et des ressources hydrauliques a pour mission de lutter contre toutes les sources de pollution et de nuisance et contre toutes les formes de dégradation de l'environnement. Elle intervient pour l'approbation des études d'impacts sur l'environnement des projets de réutilisation des EUT.

Ces études sont exigées par le décret no. 91.362 du 13 mars 1991 qui a rendu obligatoire la réalisation d'une étude d'impacts sur l'environnement avant la réalisation des nouveaux projets (unités industrielles, agricoles ou commerciales) pouvant être générateurs de pollution ou de dégradation de l'environnement.

En tant que police de l'environnement, l'ANPE veille à la conformité de la qualité des eaux rejetées dans le milieu naturel y inclus celles épurées par l'ONAS.

5 Décret No. 99-769 du 5 avril 1999.

6 Loi No. 92-115 du 30 novembre 1992.

### (C) *Le fournisseur*

Les CRDA (Commissariats Régionaux au Développement agricole), sous tutelle du MAERH, se chargent de la distribution des eaux usées traitées à partir de l'exutoire des stations d'épuration de l'ONAS jusqu'aux périmètres irrigués par la réalisation des stations de pompage et du réseau d'amenée et de distribution et assurent ensuite l'exploitation et l'entretien des leurs ouvrages.

La Direction Générale du Génie Rural (DGGR) avec les arrondissements au niveau des CRDA réalisent les études, la gestion et la distribution des EUT.

### (D) *Les utilisateurs*

Dans les périmètres conventionnels, on évolue vers un système de gestion participatif à la délégation de la gestion des périmètres irrigués aux associations d'usagers d'eau (AIC ou association d'intérêt collectif) avec un appui de la part des CRDA.

La passation de la gestion aux AIC des EUT reste encore hésitante et nécessitera d'une grande assistance de la part de l'administration du point de vue technique pour l'entretien et la réparation des infrastructures hydrauliques assez importantes au niveau des périmètres irrigués par les EUT et du point de vue sanitaire concernant l'exposition des utilisateurs aux risques infectieux inhérents à l'utilisation des EUT.

## 4.2 **Etat actuel de la réutilisation des eaux épurées en irrigation**

Le secteur agricole consomme la plus grande part des ressources conventionnelles et c'est donc le secteur le plus ciblé par la réutilisation des EUT. D'autre part, la continuité dans le temps des volumes disponibles par les EUT, même en période de sécheresse avec des impacts négatifs sur les revenus des agriculteurs, représentent environ 28 % de la population active de la Tunisie.

Par ailleurs, l'utilisation des EUT pour certaines productions agricoles vulnérables à la sécheresse ne peut être que bénéfique pour combler les déficits

agroalimentaires. En effet, certaines études réalisées au niveau du ministère de l'agriculture montrent que 70 % de la variation dans la production céréalière s'explique par la variation pluviométrique saisonnière de l'automne et environ 64 % de la variation dans la production des oliviers s'explique par la variation des pluies de l'année précédente. La réutilisation des EUT en Tunisie a démarré en 1965 dans les vergers de la Soukra située à environ 5 km au Nord-Est de la ville de Tunis.

L'état actuel de la réutilisation des EUT<sup>7</sup> est résumé dans le tableau 11 :

L'irrigation du périmètre de Moknine (100 ha) à partir des EUT a été abandonné pour des raisons liées à la salinité élevée des eaux. Actuellement, ce périmètre est alimenté à partir des eaux conventionnelles du barrage Nebhana.

Les cultures pratiquées comportent essentiellement des fourrages (luzerne, l'avoine, le sorgho, le raye gras et le bersim) sur 2.060 ha, des céréales (blé dur et blé tendre) sur 1.019 ha, et des arboricultures (olivier, agrumes, pêcher, vigne de cuve, amandier et grenadier) sur 1.299 ha, soit un total exploité de 4.378 ha Ceci donne un taux d'intensification de 66,3 % sur une superficie de 6.603 ha équipés. Les cultures industrielles de betterave à sucre et de coton ne sont plus pratiquées. En effet, les sucreries tunisiennes se limitent au raffinage du sucre.

Au niveau de la STEP de Gabes, des cultures industrielles de henné et de tabac sont en cours d'expérimentation. Un projet pilote réalisé par l'ONAS, dans l'enceinte de la STEP de Choutrana, a fait la comparaison de la production de plantes florales (le rosier, l'iris, le jasmin, la marjolaine et le romarin) irrigués à partir des EUT en utilisant les boues de la station sur une parcelle et le fumier sur une autre. Une augmentation de production 20 % a été observée sur la parcelle ayant été épandue par les boues.

Différents modes d'irrigation sont pratiqués au niveau des périmètres irrigués par les EUT. Cependant, la submersion est la pratique la plus répandue en raison de la charge élevée en matière de suspen-

<sup>7</sup> ONAS (2002a).

<b>Tableau 11 : Les périmètres irrigués à partir des EUT</b>							
<b>Gouvernorat</b>	<b>Périmètres</b>	<b>Date de mise en service</b>	<b>Superficie en ha</b>	<b>STEP</b>	<b>Longueur du réseau d'adduction en m</b>	<b>Bassin de stockage en m<sup>3</sup></b>	<b>Observation</b>
<b>Ariana</b>	Sabela-B Touil	1990	3200	Choutrana +Charguia +côtière Nord	1600		Sauvegarde des agrumes
	Soukra	1965	600	Charguia	4000	5800	
<b>Ben Arous</b>	Mornag	1991	1047	Sud Méliane	9500		Terres Domaniales
<b>Nabeul</b>	O.Souhil	1984	236	SE4 Nabeul	3000	600	Sauvegarde des agrumes
	Messadi		70				
	Bir Rommana		40				
<b>Sousse</b>	Zaouiet soussse	1987	205	Sousse Sud	1800	2500	
<b>Monastir</b>	Moknine	1996	100	Moknine	700	1000	Irrigué à partir des EC
	Ouardanine	1996	50	Ouardanine	2300		
	Lamta-Sayada		50	Lamta Sayada			
<b>Kairouan</b>	Drâa Tammar	1990	240	Kairouan	4000	1500	
<b>Kasserine</b>	O. Essid	1998	100	Kasserine	2200	2500	
<b>Sfax</b>	Hajeb	1987	425	Sfax Sud	13000		345 ha de terres domaniales
<b>Gafsa</b>	El Aguila	1991	116	Gafsa	250		
<b>Gabès</b>	O. Edissa	1999	200	Gabès		2600	
<b>Medenine</b>	Sidi Salem		4			91	Périmètre privé Terres domaniales
	Lella Mariem		20				
<b>Total</b>			<b>6703</b>				

Source : ONAS (2002a)

sion dans les EUT qui peuvent colmater les asperseurs et les équipements de goutte à goutte.

En ce qui concerne le rendement des cultures, il faut noter que les périmètres irrigués par les EUT donnent un meilleur rendement que ceux irrigués par l'eau conventionnelle. Un ratio de deux fois plus grand est observé pour la production de certaines cultures fourragères (Bersim, Luzerne, Sorgho) et un ratio de 2,67 plus élevé a été observé pour la production des oliviers.

Par ailleurs, l'irrigation des terrains de golf est réalisée à 90 % avec les EUT. Au total, 570 ha de terrains de golfs sont arrosés principalement par les EUT avec un complément d'eau conventionnelle (forage ou barrage) pour améliorer la salinité des eaux. L'irrigation des espaces verts en milieu urbain, autour des aéroports et des parterres pleins centraux de quelques routes est en croissance. De plus, il faut noter que le taux de réutilisation des EUT est proche de 20 % pour l'an 2001. Ce taux varie d'une région à une autre (6,7 à environ 90 % au niveau du périmètre Drâa Tamar à Kairouan).

### 4.3 Les contraintes liées au développement de la réutilisation dans le secteur agricole

Le développement de la réutilisation des EUT dans le domaine agricole rencontre plusieurs contraintes :

1. **Attitude des agriculteurs** : En se basant sur les résultats de l'étude stratégique de la valorisation des EUT (2002) et ceux présentés dans le thème 9 de l'étude du secteur de l'eau relative à la promotion des EU, les attitudes vis à vis de la réutilisation varie selon plusieurs facteurs.

La non disponibilité d'alternative d'irrigation à partir d'autres ressources conventionnelles engendre une demande pour les EUT tel est le cas du périmètre de Borj Touil.

Les craintes de problèmes de santé et de risques sanitaires et environnementaux dépendent du niveau d'instruction et du niveau social des agriculteurs. D'après les statistiques de l'Association pour la Vulgarisation et la Formation Agricole (AVFA), 86 % des exploitants sont des petits exploitants. Le niveau d'instruction de ces petits exploitants reste faible et leur âge moyen est estimé à 53 ans dont 37 % sont âgés de plus de 60 ans. le vieillissement et l'analphabétisme (près des trois quarts sont illettrés) de ces exploitants est un problème dans le secteur agricole dans son ensemble.

Un troisième facteur jouant un rôle dans l'acceptation des EUT est le type de culture appliquée dans le périmètre. Il semble que les périmètres d'arboriculture ont plus de succès (cas du périmètre de l'Ourdanine). Par ailleurs, la restriction des cultures pose un facteur limitant aux agriculteurs qui veulent irriguer les cultures à haut rendement telles que les cultures maraîchères.

2. **Qualité des eaux** : La salinité des EUT associée aux conditions climatiques et pédologiques pose un facteur limitant pour le développement de la salinité. En effet, l'accumulation des sels dans le sol qui dépend de la nature de ce dernier, affecte la croissance des végétaux. A titre

d'exemple, une salinité de 8,5 g/l est tolérable par les grandes cultures sur des sols sableux alors que cette limite est de 1,2 g/l pour la même culture sur des sols argileux. Le périmètre de Moknine a été abandonné à cause de la salinité des EUT. Le suivi de la salinité des sols dans le périmètre de la Soukra sur une période de 2 années consécutives a montré que la conductivité électrique est passée de 0,92 ds/m à 1,91 ds/m sur les premiers 40 centimètres de profondeur de sol en tenant compte des aspects climatiques, les apports en sels pendant les deux années sont estimés à 6,2 t/ha.<sup>8</sup>. Le problème d'accumulation des sels dans le sol peut être résolu en appliquant la lixiviation afin d'enlever les quantités transportées par les EUT. Cependant, ce procédé peut être difficile à prévoir surtout dans les zones arides où la pluviométrie est rare.

3. **Risque sanitaire** : Dans le cas où les règles d'hygiène seraient respectées par les utilisateurs, la réutilisation des EUT pourrait ne pas présenter de risques énormes. L'évaluation de ces risques nécessitent un suivi épidémiologique de la population exposée. Une enquête réalisée<sup>9</sup> en 1995 dans le périmètre de la Soukra a montré que la population concernée a été touchée par des maladies dermatiques (démangeaisons, boutons, irritation) et des maladies infectieuses (nausées, fièvres, diarrhées, conjonctivites) dans 21 % des cas. Les statistiques de la DHMPE montre que 85 % des cas ne respectent pas les règles d'hygiène, 65 % des ouvriers ne se soumettent pas à la visite médicale annuelle et 70 % ne sont pas vaccinés.
4. **Contraintes techniques** : Plusieurs facteurs d'accompagnement sont nécessaires pour réussir un projet d'irrigation par les EUT, dont notamment l'installation de système de drainage afin de protéger le sol de la salinité, le stockage des EUT pour faire face à la demande inter-saisonnière engendrée par l'irrigation et l'adaptation du système d'irrigation et afin de

8 Zekri et al. (1995).

9 Zekri et al. (1995).

**Tableau 12 : Evolution des coûts moyens d'exploitation et d'entretien et des tarifs de l'eau d'irrigation**

Région	2000		
	Tarif en mil/m <sup>3</sup>	Coût en mil/m <sup>3</sup>	TR
Nord	101	85	119 %
Centre	68	63	107 %
Sahel	116	143	81 %
Sud	35	42	83 %
Tunisie	94	82	115 %

Source : Hamdane (2002)

surmonter les problèmes liés à la maintenance et aux coûts d'investissement élevés. En effet, 30 % des périmètres manquent encore de bassin de stockage. Par ailleurs, l'impact de stockage des EUT sur la qualité des eaux physico-chimiques et bactériologiques dans un climat semi aride à saison estivale chaude n'est pas encore bien maîtrisé.

5. **Problèmes fonciers :** Le contexte de l'agriculteur tunisien lié d'une part aux aspects financiers (morcellement des terrains lié aux droits de succession et d'héritage, absence de titres fonciers, absentéisme des exploitants en liaison avec la pratique de l'agriculture extensive, etc.), d'autre part aux moyens matériels et financiers posent des contraintes au développement des EUT.
6. **Manque d'information, de communication et de sensibilisation :** Un effort supplémentaire est nécessaire pour remédier aux méfiances et réticences des futures bénéficiaires. L'ONAS ne dispose pas de programme de communication et de vulgarisation pour créer une demande de la part des utilisateurs. Les services du Ministère d'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources hydrauliques assurent des programmes de vulgarisation pour le secteur agricole. Cependant, ces programmes sont plutôt axés sur les pratiques culturales. Le niveau de connaissance des vulgarisateurs n'est pas toujours à jour en ce qui concerne les EUT.

#### 4.4 Les projets agricoles programmés

A moyen terme, les projets de réutilisation des EUT pour des périmètres irrigués couvriront 2.940 ha. Un grand projet autour de la ville de Tunis est en cours d'étude pour la création de 6.000 ha de périmètres irrigués dont la première tranche couvrant 100 ha est programmé pour 2011. A long terme, il est envisagé d'irriguer 22.000 ha par les EUT à l'horizon de 2020, soit une augmentation de plus de 300 % par rapport à la situation actuelle.

En outre, six terrains de golf sont programmés à Djerba, Ghammarth, Mahdia et Tozeur couvrant une superficie supplémentaire de 570 ha. Un programme national de création de parcs urbains alimentés à partir des EUT envisage de couvrir une superficie de 607 ha en l'an 2006 et d'atteindre à l'avenir une superficie de 959 ha. Un autre projet d'alimentation en EUT des jardins d'hôtels couvrant 82 ha dans la zone touristique de Monastir et de 262 ha dans la zone touristique de Sousse est envisagé à l'horizon de 2011.

D'autres projets d'espaces verts sont programmés pour l'autoroute Tunis-Msaken et pour l'embellissement des berges du lac Nord de Tunis totalisant une superficie de 257 ha à l'horizon de 2011 et 481 à l'horizon de 2021.

#### 4.5 Tarification des eaux conventionnelles et non conventionnelles

La politique tarifaire appliquée depuis 1991 consiste à augmenter annuellement les prix de l'eau de 15 % en valeur nominale visant le recouvrement intégral des coûts d'exploitation et d'entretien. Les tarifs de l'eau ne couvrent pas les frais d'amortissement et de renouvellement. Le tableau 12 donne les taux de recouvrement (TR) atteints dans les périmètres pour l'année 2000.

L'évolution des coûts moyens d'exploitation et d'entretien et des tarifs de l'eau d'irrigation par région<sup>10</sup> sont également indiqués dans le tableau 12.

<sup>10</sup> Hamdane (2002).

Les taux de recouvrement dans les régions du Sahel et du Sud restent faibles car l'augmentation systématique des tarifs n'a pu être respectée en raison des considérations sociales relatives au maintien des revenus des agriculteurs.

En ce qui concerne l'approvisionnement à partir des nappes phréatiques, le coût de revient de l'eau varie entre 50 et 95 mil/m<sup>3</sup> et dépend essentiellement de la profondeur de pompage. Il faut signaler que ces coûts sont entièrement à la charge des agriculteurs. Etant donné que le coût de revient de l'eau à partir de la nappe phréatique et est moins chère, les agriculteurs préfèrent le creusage des puits de surface lorsque les conditions hydrogéologiques le permettent.

En vue de promouvoir la réutilisation des EUT à des fins agricoles, un tarif préférentiel unique de 20 mil/m<sup>3</sup> a été adopté à partir de 1997. Ce tarif constitue une réduction notable des tarifs variant auparavant d'un périmètre à l'autre de 31 à 68 mil/m<sup>3</sup>. Une subvention d'environ 84 % est ainsi accordée sur le coût d'exploitation et d'entretien des périmètres concernés. Selon les régions, le prix du mètre cube des EUT revient entre 20 % et 57 % du prix des eaux conventionnelles

#### 4.6 Etude stratégique de valorisation des EUT

L'étude de la stratégie nationale de valorisation des EUT, réalisée par l'ONAS en décembre 2002, envisage trois scénarios pour le développement de la réutilisation à savoir :

1. **Un scénario de poursuite des pratiques existantes** et de consolidation des acquis. Ce scénario se limite aux projets identifiés dans le secteur hydroagricole, les terrains de golf, les parcs naturels et les projets d'espaces verts (jardins d'hôtels, autoroutes et boulevards urbains). Un taux de réutilisation de 40 % peut être atteint à l'horizon de 2021. Ce scénario repose sur l'irrigation de 6.000 ha de nouveaux périmètres à proximité des stations d'épuration de l'ONAS, 959 ha de parcs naturels, six nouveaux terrains

de golf et 781 ha entre l'autoroute Tunis-Msaken et d'autres axes routiers

2. **Un scénario diversifié** qui tient compte de la réutilisation dans le secteur industriel et de l'arrosage des axes routiers en plus des projets du scénario 1. Ce scénario projette un taux de réutilisation de 62 % à l'horizon de 2021. Ce scénario repose sur la création des espaces verts dans les grandes villes (280 ha) et des jardins d'hôtels (30 % de la superficie des zones touristiques), trois terrains de golf en plus de ceux prévus dans le scénario 1, la réutilisation dans le secteur industriel dont le potentiel est estimé à 29 Mm<sup>3</sup>, et un stockage inter-saisonnier destiné à la recharge des nappes côtières.
3. **Un scénario agricole** qui repose sur le développement de la réutilisation des EUT dans le domaine agricole et dans la recharge des nappes. Un taux de réutilisation de 57 % est envisagé à l'horizon 2021. Une superficie supplémentaire de 5000 ha serait alimentée à partir des EUT à l'horizon de 2006 et 2011. Un renforcement de la réutilisation des EUT dans les terrains de golf par la création de 250 ha supplémentaires comme pour le scénario 2 est aussi prévu par ce scénario.

La réalisation d'un plan d'action et de mise en œuvre de la stratégie de valorisation des EUT repose sur les composantes suivantes :

- a) le développement du cadre institutionnel de la réutilisation des EUT, aussi bien pour le secteur agricole que pour les usages non agricoles en tenant compte de l'implication du secteur privé et la mise en place des mécanismes de gestion de suivi, d'évaluation et de mise à jour,
- b) la consolidation des acquis et la diversification des utilisations dans trois grands axes (1) les espaces verts municipaux et les jardins d'hôtels (2) la recharge des nappes (3) le secteur industriel,
- c) la mise en place des mesures d'accompagnement appropriées aux niveaux (1)

techniques pour la gestion de la qualité (2) réglementaires et normatifs visant une réutilisation moins restrictive, (3) économiques et financiers afin de préserver l'équilibre de l'ONAS et instaurer un système de recouvrement des coûts, (4) le développement de la recherche dans un cadre de collaboration et de partenariat entre les professionnels et

les instituts de recherche, (5) programmes de communication et de sensibilisation et (6) à travers le renforcement des capacités nationales pour tous les acteurs.

- d) L'accompagnement de tous les programmes et projets de réutilisation des EUT par un suivi environnemental et sanitaire renforcé.



## Bibliographie

- Al Atiri, R.** (2002) : Le programme national d'Economie d'Eau en Agriculture : Mise en oeuvre et évaluation : HDRO-MED, Tunis
- AAMHA** (Association Africaine de Microbiologie et d'Hygiène Alimentaire) (1996) : Colloque sur les opportunités de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, Monastir
- Bachta, M.** (2002) : Durabilité de l'Agriculture en Tunisie. Observatoire Tunisien de l'Environnement pour le Développement Durable (OTED)
- Bahri, A.** (2000) : Water reuse in Tunisia, Institut National de Recherche agronomique, de l'eau et de forêt
- Benabdallah, S. / R. Benammar** (2001) : Recueil de la réglementation Tunisienne concernant la qualité des eaux, Projet Maîtrise de la qualité des eaux de la Medjerda, CITET, Tunis
- Benzarti, A.** (2000) : La réutilisation des Eaux Usées Epurées, Centre International des Technologies de l'Environnement, Tunis
- Boukchina, R. / A. JRAD** (1999) : Marginal Water and Saline Soils-Gabes Pilot Project
- Coopération FMCU-ONAS** (1992) : Agence de l'eau des cités unies ; Analyse préliminaire au traitement tertiaire à envisager en vue de la réutilisation de l'eau épurée
- DGRE** (Direction Générale de Ressources en Eau) (1998) : Thème 9, Développement de la stratégie pour promouvoir la réutilisation des eaux usées épurées dans le secteur agricole ou autres, Groupement Bechtel International Inc/Scet Tunisie
- El Atiri, R / F. Rezgui / B. Aniba** (2002) : Réutilisation des eaux usées : cas de la Tunisie ; Forum de la Gestion de la Demande en Eau, Rabat
- El Koundi, A.** (2002) : Etat de l'assainissement en Tunisie; séminaire sur les traitements tertiaires, Tunis
- Ferjani, R.** (1995) : Les stations d'épuration en Tunisie, ONAS
- Hamdane, A.** (2002) : Valeur économique de l'eau agricole : cas de la Tunisie ; Forum de la Gestion de la Demande en eau, Rabat
- INNORPI** (Institut National de la Normalisation et de la Propriété Industrielle) (1989a) : Normes de rejet dans un milieu hydrique, NT 106.02
- (1989b) : Normes de réutilisation des eaux traitées en Agriculture, NT 106.03
- Limam, A.** (2002) : Valeur économique de l'eau potable : cas de la Tunisie ; Forum de la Gestion de la Demande en eau, Rabat
- Mamou, A. / A. Kassah** (2000) : Economie et valorisation de l'eau en Tunisie, dans : *Sécheresse*, Vol.11, No. 4
- Ministère de l'Agriculture** (1998) : Stratégie du secteur de l'eau en Tunisie à long terme (2030). EAU XXI, Tunis
- ONAS** (Office National de l'Assainissement) (2002a) : Etude de la stratégie nationale de valorisation des Eaux Usées Traitées, Rapport de synthèse, réalisé par SERAH
- (2002b) : Rapport d'activité de l'année 2002
- (2001) : Rapport d'activité pour l'année 2001
- (1993) : Etude de factibilité d'assainissement, Rapport 6 : Réutilisation des eaux usées épurées et des boues stabilisées des stations d'épuration. Réalisé par le groupement de bureaux d'études SOTINFOR-SERAH
- Projet «AVICENNE Initiative» de l'Union Européenne** (1998) : Utilisation des eaux usées en irrigation, approche globale du traitement des effluents, comparaison de différents systèmes d'irrigation sur diverses cultures et leurs aspects institutionnels et organisationnels
- Trad-Rais, M.** (1998) : Effet du stockage sur la qualité des effluents, 8 p. Proc. DGGR-INRGREF Séminaire sur „Réutilisation des EUT dans l'agriculture“, Hammamet (Tunisie), p. 27–28
- (1995) : Charge bactérienne des eaux usées tunisiennes avant et après traitement d'épuration, dans : *Journal Européen d'Hydrologie*, No. 26, p. 317–326
- (1991) : Contamination bactérienne des fourrages irrigués avec les eaux usées traitées, Ann. INRAT, No. 64, p. 12–16
- Zekri, S. et al.** (1995) : Les externalités négatives de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture, Séminaire sur les aspects économiques de la gestion de l'eau dans le bassin méditerranéen, Marrakech



# **La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie**

## **2<sup>ème</sup> Partie**

Entraves à la mise en œuvre  
et possibilités de solution

Susanne Neubert, IAD



## Table des matières 2<sup>ème</sup> Partie

### Abréviations

<b>1</b>	<b>Stratégies d'évacuation et concepts d'épuration</b>	<b>1</b>
1.1	Réflexions fondamentales	1
1.2	Objectifs de traitement divergents selon l'option d'utilisation	2
1.3	Concepts d'épuration adaptés aux besoins des utilisateurs	3
<b>2</b>	<b>Méthodologie et procédé</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Avantages et inconvénients de l'utilisation des eaux usées traitées selon la perspective des différents acteurs</b>	<b>6</b>
3.1	Aperçu sur la perspective des évacuateurs et des fournisseurs des eaux usées	6
3.2	La perspective des agriculteurs	8
3.2.1	Aperçu des avantages et des inconvénients	8
3.2.2	Calcul comparatif des marges brutes	9
3.2.3	Besoin en eau et coûts	11
3.2.4	La fiabilité dans la couverture du besoin en eau	14
3.2.5	La sécurité hygiénique des eaux usées	15
3.2.6	Salinité et tolérance au sel	17
3.2.6.1	Salinité	17
3.2.6.2	La tolérance au sel	19
3.2.7	Teneur de substances nutritives des eaux usées	21
3.2.8	Facteurs de l'aménagement agricole	22
3.2.8.1	Leaching Requirement	22
3.2.8.2	Autres facteurs de l'aménagement	24
3.2.9	Facteurs socioculturels et autres	25
3.3	Les perspectives de l'ensemble de la société et des consommateurs des produits	26
3.4	Aperçu sur la perspective environnementale	29
<b>4</b>	<b>Synthèse des perspectives</b>	<b>30</b>
4.1	L'adaptation de la technique d'épuration aux critères pour la réutilisation	30
4.2	Réalisation de projets	31
4.3	Attribution des coûts lors d'une épuration des eaux usées selon les besoins	31
4.4	Conclusions et recommandations	35

## **Aperçu**

Aperçu 1:	Les critères de traitement des eaux usées selon l'objectif d'utilisation	4
Aperçu 2:	Les groupes d'acteurs concernés dans l'utilisation des eaux usées traitées (EUT)	7
Aperçu 3:	Tolérance au sel des différents types de plantes cultivées en Tunisie	18
Aperçu 4:	Tolérance au sel des différents types de plantes cultivées selon les valeurs indicatives internationales	18
Aperçu 5:	Relation entre salinité et tolérance au sel	20

## **Tableaux**

Tableau 1:	Marges brutes <sup>a</sup> et frais d'eau pour l'eau conventionnelle et les eaux usées	12
Tableau 2:	Besoin d'eau et quotes-parts des coûts de l'eau des coûts d'exploitation totaux selon les différents procédés d'irrigation	14
Tableau 3:	Salinité moyenne des eaux usées en Tunisie	16
Tableau 4:	Valeurs indicatives pour la classification de la qualité de l'eau d'irrigation (fixées en Algérie)	20
Tableau 5:	Valeurs guidées pour l'évaluation de la qualité des eaux usées pour l'irrigation agricole	23
Tableau 6:	Valeur ajoutée / m <sup>3</sup> d'eau ou eaux usées selon les différentes cultures	27
Diagramme 1:	Système d'évacuation et options de traitement des eaux usées	32
Diagramme 2:	Aptitude des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole	33
Diagramme 3:	Degré d'épuration et installation d'un traitement complémentaire	34

<b>Bibliographie</b>	<b>37</b>
----------------------	-----------

<b>Annexe</b>	<b>39</b>
---------------	-----------

## Abréviations

μS	MicroSiemens
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Ministère Allemand de la Coopération Economique et du Développement)
CE	Conductivité électrique
CF	Coliformes fécaux
CITET	Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
DS / m	déciSiemens par mètre
DT	Dinar Tunisien (1Euro ~ 1,4 DT)
EBM	Ecoulement d'eau bas moyen
ECOSAN	Ecological Sanitation, GTZ
EUT	Eaux Usées Traitées
EZ	Entwicklungszusammenarbeit (Coopération au développement)
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation)
FT	Force de travail
FZ	Finanzielle Zusammenarbeit (Coopération au développement financière)
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Société Allemande de la Coopération Technique)
ha	Hectare
hab	Habitant
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
LR	Leaching Requirement
m <sup>3</sup>	Mètre cube
MB	Marges brutes
N	Azote
Na	Sodium
NH <sub>4</sub>	Ammonium
NO <sub>3</sub>	Nitrates
NT	Norme Tunisienne
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONAS	Office National de l'Assainissement
P <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Phosphate
RWP	Reclaimed Water Project, GTZ-Jordanie
TZ	Technische Zusammenarbeit (Coopération technique au développement)
UV	Ultraviolet

WPB	Brackish Water Project, GTZ-Jordanie
WSP	Waste stabilization ponds
WSTR	Waste water storage and treatment reservoirs



## 1 Stratégies d'évacuation et concepts d'épuration

### 1.1 Réflexions fondamentales

Même si les concepts alternatifs d'évacuation n'ont eu à nos jours qu'une importance locale, il n'est pas impératif de concevoir un système d'évacuation de manière centralisée, de mélanger les excréments durs avec les eaux usées de provenance ménagère et de purifier ce liquide – grâce aux moyens de transport – dans un système de purification et, enfin, de l'évacuer dans un cours d'eau. Particulièrement dans les pays en pénurie d'eau, il serait tout à fait acceptable d'établir des systèmes dans lesquels on séparerait d'emblée les cycles de l'eau avec les cycles de substances nutritives de sorte à recueillir uniquement des petites quantités d'eaux usées domestiques peu polluées et des excréments présentés sous forme de substrat séché. De cette manière, on pourrait doser exactement les substances nutritives et les utiliser, avec un petit investissement en transport, dans l'agriculture. L'eau restante pourrait en outre être utilisée dans la distribution d'eau et d'assainissement par un processus de recyclage. Dans ce cas l'utilisation des EUT, telle qu'analysée dans ce travail, ne serait pas alors une option prioritaire.

De la même façon, il n'est pas impératif d'épurer les eaux usées dans des stations d'épuration conventionnelles. A l'aide de systèmes de clarification construits de manière décentralisée et quasi-naturels, on pourrait aussi atteindre des degrés d'épuration élevés et, cela, à des frais beaucoup plus bas. Dans ce cas, la question de savoir à quel degré les eaux usées doivent être purifiées pour ne pas causer des problèmes hygiéniques lors de l'utilisation ne se poserait pas. En effet, après un écoulement du sol ou un séjour de trois semaines environ dans des lagunes d'épuration, le niveau d'hygiène exigé par les normes de l'OMS pourrait être atteint pour que l'eau puisse être utilisée sans restrictions.

Cependant, l'inconvénient majeur de ces systèmes quasi-naturels est qu'ils nécessitent un plus grand besoin d'espace par rapport aux stations d'épu-

ration conventionnelles (au moins 8–10 m<sup>2</sup> par habitant). Ils entraînent donc, le cas échéant, des coûts d'opportunité élevés. D'autres inconvénients se trouvent dans les taux d'évaporation élevés, c'est-à-dire des pertes relativement élevées en eau d'irrigation, les possibilités de contrôle relativement faibles (par exemple avec la concentration variable à l'arrivée) et dans la nécessité d'un nettoyage de longue halène de la boue dans les lagunes (à peu près tous les cinq ans). En outre, avec une grande partie des substances difficilement dégradables dans les eaux usées (industrie), une très longue période de séjour s'avère nécessaire (cela signifie que les lagunes doivent être conçues de façon encore plus grande).

Par ailleurs, il y a le fait que la réalisation des systèmes décentralisés à une grande échelle n'a pas de modèle dans d'autres pays comme c'est le cas en ce qui concerne les procédures conventionnelles. Ainsi, le geste pour de tels systèmes aurait un caractère pionnier et serait, en conséquence, tout à fait risquant.

Quel que soit le système idéal-type préféré, la situation réelle rend difficile l'application des concepts d'évacuation non conventionnelle sur une large échelle. Dans la plupart des pays – en particulier aussi en Tunisie – on a repris plus ou moins, depuis des années, les concepts des pays riches en eau sans s'interroger réellement sur leur valeur pour des régions qui souffrent de pénurie d'eau. De ce fait, on a préparé (certainement sans en être conscient) des principales voies de politiques d'évacuation. Modifier principalement cela aujourd'hui serait onéreux et, la plus part du temps, peu utile. La base de départ de cette étude est donc la situation existante.

La Tunisie est un pays très développé en matière de technique d'évacuation. Elle pratique, grâce à plus de 60 stations d'épuration et à un taux d'épuration d'environ 80 % des eaux usées urbaines, une politique de l'eau exemplaire sur plusieurs points de vue. Avec son système interconnecté de barrages, de rivières, de réseaux de conduites et de canaux la Tunisie est parvenue à faire que ni sa population ni son agriculture d'irrigation ne devaient jamais souffrir de goulots

d'étranglement absolu dans l'approvisionnement en eau ! Cela constitue, pour un des pays les plus pauvres au monde en eau, une performance très considérable. Pour cela, l'Allemagne a donné une contribution essentielle à travers ses multiples crédits et ses conseillers techniques.<sup>1</sup>

Après que ce travail – qui s'est concentré sur l'infrastructure d'approvisionnement et l'évacuation de l'eau en Tunisie – ait été effectué avec succès, le problème se déplace progressivement maintenant vers l'utilisation efficace de l'eau et les questions de l'environnement.<sup>2</sup> Ce serait logique si la coopération allemande jouait également un rôle important dans la résolution de cette question. Pour ce faire, il est nécessaire d'élaborer en partie de nouveaux concepts complémentaires. L'utilisation systématique des eaux usées fait partie de ce genre de nouveaux domaines. Les secteurs de l'eau, de l'assainissement, de l'économie et de l'irrigation qui ont été organisés séparément jusqu'à ce jour, sont de nouveau associés par l'utilisation des EUT.<sup>3</sup> Si les eaux usées ne sont pas évacuées dans un cours d'eau mais utilisées comme ressource pour l'agriculture, une série de nouveaux rapports et de questions techniques, financières, sociales, juridiques, écologiques et économiques apparaissent. Il est nécessaire d'y donner une réponse pour intégrer le processus dans un système d'évacuation existant.

## 1.2 Objectifs de traitement divergents selon l'option d'utilisation

Les objectifs d'une station d'épuration conventionnelle consistent généralement à traiter les eaux usées de manière à ce que leur déversement dans les cours d'eau ne présente aucun risque écologique. Il n'y a pas de risque écologique pour les eaux usées d'origine domestique si les processus de décomposition biologiques consommant l'oxygène sont pratiquement achevés et si les eaux usées ne portent pas de risques toxiques pour les poissons.<sup>4</sup> En conséquence, les objectifs prioritaires fréquents dans l'épuration conventionnelle sont la réduction des substances organiques et des éléments nutritifs dus surtout à l'azote ammoniacal qui est toxique pour les poissons. Avec des eaux en danger d'eutrophication, on peut éliminer également en premier plan le  $P_2O_4$  (phosphate) ou le  $NO_3-N$  (nitrate). En revanche, on tolère une certaine salinité et un résidu de charge microbologique dans les eaux usées traitées parce que normalement les teneurs résiduelles ne sont pas problématiques pour les cours d'eau. Si l'écoulement d'eau bas moyen (EBM) des eaux est suffisamment grand par rapport à la quantité d'écoulement de la station d'épuration, d'une part ces substances sont fortement diluées dans les cours d'eau et d'autre part les germes pathologiques meurent généralement vite et de façon complète sous ces conditions.

Cependant, si les eaux usées traitées seraient utilisées dans l'agriculture, il existerait d'autres objectifs prioritaires concernant la qualité. L'eau traitée ne devrait comporter aucun risque hygiénique, les teneurs des substances nutritives (cela veut dire teneur d'azote et de phosphate) doivent

1 Cf. par exemple KfW (2001); BMZ (2001a); Fersi / Wunderlich (2002); Coopération Allemande au Développement / Ministère de l'Agriculture / Coopération Technique Tuniso-Allemande (2001).

2 République Tunisienne: Ministère de l'Agriculture (1999, 2000).

3 Dans de nombreux pays où il n'existe pas une évacuation et un approvisionnement de l'eau dans une manière centrale, l'utilisation des eaux non purifiée est une procédure traditionnellement pratiquée mais également problématique pour la santé et l'environnement. Depuis qu'on a établi des systèmes modernes d'évacuation il existe une séparation systématique des systèmes de l'eau potable et de l'eau d'irrigation dans lesquels l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture n'était pas initialement prévue du tout.

4 La pollution organique (carbonée) et son élimination sont suivies au moyen de mesures globales telles que la DCO (Demande Chimique en oxygène) et la DBO (Demande Biochimique en oxygène). Ces deux paramètres globaux représentent des demandes en oxygène, c'est-à-dire que l'on mesure la quantité d'oxygène qui est nécessaire pour dégrader la pollution, soit par la voie chimique (DCO) soit par voie biologique (DBO). Ce sont cependant des paramètres importants dans la mesure où, dans les stations d'épuration, il faut apporter artificiellement l'oxygène nécessaire au traitement.

être suffisantes mais non trop élevées, les teneurs en sel devraient être le plus bas possible. Cette eau doit contenir uniquement de faibles quantités de métaux lourds et de composés organiques difficiles à désagréger.

En revanche, l'élimination quasi complète des substances organiques biodégradables (en particulier la DBO) n'est pas nécessaire, si l'eau usée sert à l'irrigation. Une certaine charge résiduelle pourrait être aussi supprimée ultérieurement sans problème dans le sol qui, lui-même, tient lieu de « corps de traitement biologique ». En ce qui concerne également les substances nutritives, il existe des besoins de qualité contraire. A cause de leur valeur fertilisante, l'azote et le phosphate devraient rester présents si possible dans les eaux usées si celle-ci est réutilisée. Pour éviter l'excès de fertilisation et de lixiviation, il est avantageux que l'azote ne se présente pas sous forme de nitrate mais d'azote ammoniacal. Ce type d'azote pose moins de problème pour l'eau souterraine que le nitrate parce-qu'il est adsorbé à des composants du sol. Les plantes absorbent plus lentement l'azote d'ammonium de sorte qu'on en vient moins facilement à des effets de fertilisation excessive. L'aperçu 1 montre, en résumé, les différents objectifs de traitement des eaux usées selon l'option d'utilisation.

### 1.3 Concepts d'épuration adaptés aux besoins des utilisateurs

Avec les différentes techniques d'épuration disponibles, on atteint, à un niveau différent, des objectifs de traitement divergents selon l'option d'utilisation des eaux usées. Lors des procédures conventionnelles, il règne des conditions d'aérobie. Par une oxydation, on réduit rapidement au minimum la pollution organique (DBO/DCO) des eaux usées. Si la station d'épuration est en outre fournie d'un traitement tertiaire<sup>5</sup>, le phosphate qui est polluant pour l'environnement se réduit aussi, et les composés de l'azote sont d'abord nitrifiés et

ensuite évacués dans l'air (dénitrification). Les stations d'épuration conventionnelles, aussi en Tunisie, opèrent donc en priorité avec le recours à l'oxygène. Ces procédures sont généralement très efficaces et économiques en espace. Cependant, elles sont coûteuses du point de vue énergétique et financier.

Si les eaux usées sont utilisées dans l'agriculture, une qualité d'eau satisfaisante est obtenue avec plusieurs lagunes d'eaux usées construites consécutivement (*waste stabilization ponds, WSP*). Dans des lagunes non aérées, le processus d'autoépuration fonctionne essentiellement sous des conditions anaérobies et en cas de besoin, ces lagunes servent également de réservoir d'eaux usées (*waste water storage and treatment reservoirs, WSTR*) dans le but de pouvoir compenser la fluctuation des demandes des utilisateurs. Ces procédés sont conçus particulièrement pour des pays chauds étant donné que la vitesse du processus biochimique s'opère proportionnellement avec la température. Au bout d'une durée de 22 jours dans les lagunes, les eaux usées devraient être débarrassées des coliformes fécaux ainsi que des œufs de nématodes. Ainsi, elles conviendraient pour une utilisation non restrictive dans l'agriculture.<sup>6</sup> Les stations d'épuration par les lagunes sont efficaces du point de vue du travail, stables concernant le procédé et très économiques. Cependant, elles présentent aussi des inconvénients spécifiques (voir paragraphe 2.1), elles doivent être exploitées professionnellement et soumises à des contrôles réguliers (*monitoring*). En conséquence, les lagunes ne peuvent pas être généralement favorables aux procédures mécanisées, mais devraient être évaluées selon les cas concrets.

D'autres options quasi-naturelles existent dans la construction des installations d'épuration végétale. Ces options se basent sur des processus anaérobies et aérobies qui s'élaborent facultativement et nécessitent moins d'espace par rapport aux lagunes. L'épuration survient, selon le cas, avec

5 Traitement tertiaire : dénitrification et élimination du phosphate.

6 Cf. OMS (1989) ; Blumenthal / Peasey (2000).

<b>Aperçu 1: Les critères de traitement des eaux usées selon l'objectif d'utilisation</b>				
<b>Critère</b>	<b>Objectif de traitement pour évacuation dans des cours d'eau</b>	<b>Processus biochimique</b>	<b>Objectif de traitement biochimique pour une utilisation dans l'agriculture</b>	<b>Processus biochimique</b>
<b>Charge organique (DBO du DCO)</b>	<b>Critère clé:</b> baisser le plus fort possible	Oxydation nécessaire, sinon les cours d'eau sont fortement chargés (suspension d'oxygène).	La dégradation ne doit pas être très complète parce que des processus de diminution résiduelle ont lieu également dans le sol.	Oxydation amplifiée pas si nécessaire avant l'irrigation
<b>Ammonium-N (NH<sub>4</sub>)</b>	<b>Critère clé:</b> Oxyder au nitrate le plus complètement possible à cause du degré de toxicité du NH <sub>4</sub> élevé pour les poissons.	Les conditions d'aérobies sont nécessaires pour permettre la nitrification	La teneur doit demeurer élevée relativement car le NH <sub>4</sub> est la forme préférée d'azote parce qu'il est un fertilisant lentement accessible et présente un moindre danger de lixiviation.	Des conditions d'anaérobie sont avantageuses pour empêcher que le NH <sub>4</sub> se transforme en nitrate.
<b>Germes pathogènes (coliformes fécaux ; œufs de nématodes)</b>	Un reste en teneur est permis parce que les germes pathogènes meurent d'eux-mêmes dans les cours d'eau.	Traitement complémentaire non nécessaire.	<b>Critère clé:</b> réduire le plus fort possible sinon les usagers et les consommateurs de l'eau usée sont en danger.	Désinfection nécessaire pour une utilisation sans restriction (procédé : étangs d'eau usée ou installation d'un traitement complémentaire).
<b>Salinité</b>	Pas un critère prioritaire: la salinité reste la même pendant l'épuration conventionnelle puisque les eaux usées traitées se diluent avec de grandes quantités d'eau dans les cours d'eau.	Dessalement non nécessaire, particulièrement dans le cas de déversement dans la mer.	<b>Critère clé:</b> Teneur le plus bas possible à cause du danger d'augmenter la salinité du sol et de diminuer le rendement.	Dessalement peut être nécessaire selon le site, sinon les eaux usées contenant une forte salinité ne sont pas appropriées à l'irrigation sans restriction
<b>N total et Nitrate</b>	Éliminer si possible pour protéger les cours d'eau.	La dénitrification est un avantage	Suffisamment haut pour une croissance optimale des plantes, mais pas trop haute à cause du danger de lixiviation	La dénitrification est un désavantage
<b>Phosphate</b>	Éliminer si possible pour protéger les cours d'eau (sinon danger d'eutrophisation)	L'élimination du phosphate est un avantage	Une concentration suffisamment haute est souhaitable pour une croissance optimale des plantes	L'élimination du phosphate est un désavantage.
<b>Métaux lourds et substances toxiques difficiles à décomposer</b>	Tenir la concentration le plus bas possible, cependant on la dilue avec des quantités d'eau relativement grandes.	La séparation des eaux usées industrielles est un avantage.	Tenir le plus bas possible parce que l'accumulation s'effectue dans une partie du sol relativement petite	La séparation des eaux usées industrielles est un avantage.
Source: Elaboration personnelle				

l'aide de corps de sols recouverts de végétation ou de substrats de sable ; les plantes aquatiques servent en partie de fournisseurs d'oxygène, puisque l'oxygène parvient aux racines par leur système de conductivité caractéristique (*Aerenchym*). En principe, des eaux usées domestiques suffisamment traitées de cette manière peuvent aussi être utilisées sans des limitations d'usage.

L'absence de risque hygiénique pour l'irrigation inconditionnée ne peut être atteinte dans les stations d'épuration conventionnelles que si seulement on installe un traitement complémentaire supplémentaire. Ici aussi, on a de nouveau plusieurs possibilités. Par la chloration ou le traitement aux rayons ultraviolets on attaque directement les germes pathologiques, mais les procédures réussissent uniquement de façon sélective par rapport aux différents microorganismes et ne sont pas toujours tout à fait efficaces. En outre, la chloration a des effets négatifs pour l'environnement. En Tunisie on préfère le traitement aux rayons ultraviolets. Les coûts pour une telle désinfection augmentent les frais d'exploitation et d'investissement d'une station d'épuration conventionnelle environ de 10 %.<sup>7</sup>

Une autre technique de désinfection prometteuse dotée d'un niveau d'efficacité beaucoup plus élevé que le traitement aux rayons ultraviolets, est la technique de membranes. Les eaux usées sont pressées par des pores de diamètres extrêmement petits de telle sorte qu'il existe une barrière définitive pour les coliformes fécaux, les œufs de nématodes et les virus. Pour cette raison, la performance de traitement de cette technique est complète et non sélective<sup>8</sup>. Un autre effet positif secondaire avec ce processus est que les matières résiduelles en suspension sont enlevées en même temps, c'est-à-dire que les eaux usées sont presque complètement clarifiées par ce processus. En conséquence les bouchages des tuyaux d'irrigation, etc. ne représenteraient plus de problème dans l'utilisation. Mais la technique de membrane

est, à cause de sa faible vulgarisation, encore plus coûteuse que le traitement avec des rayons ultraviolets.

Les EUT peuvent être conduites – sous des conditions pédogéologiques favorables – dans des canaux de nappes phréatiques vides, et, pendant ce processus d'infiltration elles deviennent pratiquement, sous un effet secondaire, débarrassées de leurs germes. La plupart du temps, ce processus de désinfection naturelle suffit pour réutiliser sans restriction l'eau usée après un nouveau pompage. En attendant, le canal de la nappe phréatique remplit une autre fonction importante telle que la fonction de stockage.

Aux Etats-Unis et en Israël, cette manière de stockage et de désinfection est très répandue. Elle sert en même temps comme une nouvelle production artificielle des eaux souterraines. Mais la salinité de l'eau usée et aussi celle de l'eau souterraine ne doit pas être trop élevée afin que la qualité de l'eau ne soit pas détériorée davantage par le mélange. En plus, le niveau de l'eau souterraine ne doit pas être trop bas pour avoir une distance d'infiltration suffisante et garantir ainsi la désinfection. Bien qu'on ait atteint une désinfection réussie dans des expériences au nord de la Tunisie<sup>9</sup>, et qu'on ait mis en œuvre d'autres expériences concluantes concernant cette technique en Tunisie<sup>10</sup>, mais pas tous les sites sont appropriés à la réalisation. Les raisons principales en sont les hautes teneurs de salinité de l'eau souterraine, l'inadéquation des conditions de sol ou les niveaux trop bas de la nappe phréatique<sup>11</sup>.

---

7 Cf. Schüttrumpf / Mauderli (2002); MEAT / ONAS / KfW (2002).

8 Cf. Dorau (1999, 2001).

---

9 Cf. Rais / Xanthoulis, 1999.

10 Cf. Bahri, 2002, p. 6.

11 Cf. Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

## 2 Méthodologie et procédé

La littérature disponible sur l'utilisation des EUT est généralement très orientée vers les aspects techniques ou économiques. Mais concernant ce sujet, il manque une élaboration relative aux acteurs. Si une innovation est mise en pratique, cela ne dépend pas uniquement de l'influence de sa faisabilité technique, mais essentiellement des avantages et des inconvénients pour les différents acteurs qui se considèrent gagnants ou perdants de cette innovation.

Selon la position dans laquelle se situent les différents acteurs, les fonctions qu'ils exercent et le pouvoir dont il dispose, les perdants (parfois aussi seulement prétendus) essaient d'empêcher les innovations ou, en tout cas, de ne pas les réaliser pour autant qu'ils n'en soient pas forcés. Il est probable donc que les obstacles de réalisation trouvent leur raison dans le fait qu'un ou plusieurs groupes d'acteurs sont négativement touchés par l'innovation.

Une condition préalable essentielle pour surmonter les entraves à la mise en œuvre est de comprendre d'abord les différents motifs d'action des acteurs. Il ne s'agit pas d'un jugement de valeur, même si l'acteur ne réagit pas malgré les incitations offertes de la manière « souhaitée ». L'objectif est donc de déduire, sur la base de nouvelles connaissances, des mesures politiques qui permettent aux acteurs de changer leurs positions d'intérêts de sorte que les changements souhaités se réalisent si possible dans l'intérêt de ces acteurs.

Une telle analyse d'acteurs concernant ce sujet n'avait pas encore été faite ni pour la Tunisie, ni pour un autre pays. Dans ce rapport, on entreprend un premier essai mais en se référant fortement à l'application concrète (c'est-à-dire sans élaborer une partie méthodologique théoriquement fondée). Les différentes perspectives d'acteurs ne sont pas analysées avec la même parité car l'accent principal est mis sur l'analyse de la perspective des utilisateurs. Cette méthode s'explique par le fait que cette perspective était insuffisamment considérée jusqu'à nos jours même si l'on

peut déduire de là les plus grands obstacles de réalisation. Le rapport couvre seulement une partie de l'analyse complexe des acteurs. Mais grâce à ceci on peut reconnaître les entraves à la mise en œuvre et ainsi l'objectif de ce rapport peut être atteint.

L'aperçu 2 montre à présent, grosso modo, les différents groupes d'acteurs concernés par l'utilisation des EUT avec leurs différents objectifs et intérêts.<sup>12</sup> Dans la suite du rapport, ce schéma sert d'élément structurant.

Dans les sections suivantes, on traite d'abord la perspective des évacuateurs et des fournisseurs d'eaux usées.<sup>13</sup> Enfin, on aborde en détail les utilisateurs d'eaux usées et la dimension concernant l'ensemble de la société ; on analyse la perspective des consommateurs et les aspects environnementaux. Les différentes perspectives sont réunies et évaluées dans la section suivante. A partir de ce survol général, on élabore des diagrammes de décision qui permettent d'évaluer les différentes options d'utilisation visées ou les niveaux de traitement souhaité de l'eau usée.

## 3 Avantages et inconvénients de l'utilisation des eaux usées traitées selon la perspective des différents acteurs

### 3.1 Aperçu sur la perspective des évacuateurs et des fournisseurs des eaux usées

Pour les évacuateurs et les fournisseurs des eaux usées, l'utilisation des EUT offre les avantages suivants :

<sup>12</sup> Cf. aussi Neubert (2002).

<sup>13</sup> On ne peut pas dissocier ces deux groupes d'acteurs en raison du peu d'informations mis à disposition là-dessus en Tunisie.

<b>Aperçu 2 : Les groupes d'acteurs concernés dans l'utilisation des eaux usées traitées (EUT)</b>		
<b>Acteur</b>	<b>Objectif / Intérêt</b>	<b>Sous-groupes/Aspects/</b>
<b>Evacuateur</b>	Traiter l'eau usée le moins cher possible et selon les directives. Évacuer et remettre l'eau usée sans problèmes dans des cours d'eau ou fournir aux utilisateurs.	Opérateurs publics / privés des stations d'épuration (principalement l'ONAS)
<b>Fournisseur des eaux usées</b>	Fournir l'eau usée à l'utilisateur à un prix fixe. Exploiter les sites d'irrigation le moins cher que possible.	Services d'irrigation (CRDA / MAERH)
<b>L'utilisateur des eaux usées</b>	Acheter les eaux usées le moins cher que possible et exploiter le plus rentablement possible. Prendre le moindre risque d'exploitation et réaliser un rendement aussi durable que possible	Agriculteurs, éventuellement communautés d'utilisateurs / ouvriers / éventuellement des utilisateurs non agricoles.
<b>L'ensemble de la société</b>	Assurer l'approvisionnement de l'eau sur l'ensemble du pays (Eau potable et irrigation), Evacuer les eaux usées à un prix avantageux tout en respectant l'environnement, Sécuriser la consommation de l'eau et des produits alimentaires.	Politique au niveau national, consommateurs de l'eau potable et des produits agricoles.
<b>L'environnement</b>	Sauvegarder les systèmes agroécologiques et les systèmes écologiques naturels pour l'homme et l'animal.	Homme / Système agroécologique / systèmes naturels avec leurs plantes et animaux typiques.
Source: Elaboration personnelle. Cf. aussi Benabdallah, 1 <sup>ère</sup> Partie		

- Un prix de 0,02 DT/m<sup>3</sup>, qui n'existe pas pour l'épuration conventionnelle, leur a été accordé.
- Dans des cas particuliers, on peut économiser en moyenne entre 0,03 et 0,06 DT/m<sup>3</sup> des frais d'eaux usées<sup>14</sup> qui apparaîtraient si les eaux usées devaient être transportées jusqu'à un cours d'eau.
- Selon la perspective des évacuateurs, la distribution des eaux usées dans l'agriculture est une bonne occasion pour se débarrasser de la charge d'évacuation et du risque résiduel qui en dérive. Dans des pays arides, l'évacuation des eaux usées dans un cours d'eau est souvent problématique parce que les milieux récepteurs aquatiques ne possèdent pas assez d'eau ou il n'y a même pas de cours d'eaux récepteurs à proximité.

- On peut économiser des frais pour un traitement tertiaire par la réutilisation.

Aux avantages ci-dessus mentionnés de l'utilisation des EUT, s'opposent les inconvénients suivants :

- Des frais de transport et de distribution depuis l'écoulement de la station de purification jusqu'aux terrains d'irrigation se produisent. Les distances à parcourir peuvent être plus ou moins longues que dans le cas d'un déversement dans un cours d'eau. Les autorités tunisiennes ont donc décidé d'aménager les terrains d'irrigation le plus proche possible des stations d'évacuation pour pouvoir raccourcir les chemins de transport.<sup>15</sup>
- Il résulte des frais de la construction et de l'entretien des réservoirs d'eaux souterrains

14 Cf. Bahri (2002), p. 4.

15 Cf. Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

ou de surface dont on a besoin pour équilibrer les fluctuations de la demande.

- Des frais pour se présentent pour conseiller les agriculteurs à utiliser les eaux usées pour l'irrigation de manière optimale.
- Eventuellement, il y aurait des frais pour l'installation d'un traitement complémentaire.
- En outre, le contrôle régulier de la qualité biologique et chimique des eaux usées engendre des frais pour les organes de contrôle. Mais ces frais existeraient aussi si on évacuait les eaux usées dans des milieux récepteurs aquatiques. La tâche des organes de contrôle est également de sensibiliser le public et de poursuivre la recherche dans le domaine de l'utilisation des EUT.

La somme totale des frais mentionnés par rapport à des options alternatives, varie très fortement selon le site. Les frais d'exploitation moyens pour l'épuration conventionnelle des eaux usées en Tunisie sont estimés à 0,34 DT/m<sup>3</sup><sup>16</sup> Les frais dépassent ainsi le montant des coûts d'évacuation sur le prix de l'eau<sup>17</sup> que les ménages paient.

Les facteurs décisifs pour la faisabilité financière de l'utilisation des EUT sont les besoins supplémentaires en infrastructure locale et en capacité de stockage ainsi que la relation entre les frais de transports supplémentaires et économisés (coût d'énergie pour le pompage).

Concernant quelques facteurs de coûts, il n'est pas évident de savoir qui doit payer les frais supplémentaires causés par l'utilisation des EUT. Par rapport à la perspective des évacuateurs, « ces coûts de traitement » pour l'usage des eaux usées devraient être pris en charge par les agriculteurs. A la suite de l'analyse de la perspective des agriculteurs, le paragraphe 5.3 traitera à nouveau cette question.

16 Une analyse comparative des coûts de purification des eaux usées était entreprise par la GTZ, année non précisée.

17 Cf. Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

## 3.2 La perspective des agriculteurs

Les agriculteurs ont, en dehors de l'option de l'irrigation avec des EUT, l'option d'irriguer avec de l'eau conventionnelle ou celle de n'avoir aucune possibilité d'irriguer.<sup>18</sup> Mais sous la perspective de l'agriculteur, l'idéal serait de mettre facultativement en service les deux qualités d'eau ou de les mélanger. Cependant, pour des raisons liées aux frais et à l'environnement, ceci n'est ni souhaitable ni réalisable.

Dans des pays plus pauvres et en pénurie d'eau comme au Yémen, au Pakistan, en Syrie, etc., l'utilisation des eaux usées trouve une acceptation relativement grande chez les agriculteurs. La raison en est que dans ces pays, aucune source d'irrigation conventionnelle n'est souvent disponible et qu'ainsi, l'existence des agriculteurs dépend directement de l'usage des eaux usées.

Cependant, la situation est différente en Tunisie. Généralement, les agriculteurs sont fournis en eau d'irrigation conventionnelle de manière fiable et suffisante. En conséquence, la réutilisation doit aller de pair avec des avantages spécifiques afin qu'une acceptation puisse être atteinte.

### 3.2.1 Aperçu des avantages et des inconvénients

L'utilisation des EUT présente les avantages suivants pour les agriculteurs tunisiens :

- Il existe un avantage de prix pour les EUT par rapport à l'eau conventionnelle ; Le prix des eaux usées est 0,02 DT/m<sup>3</sup> et celui de l'eau conventionnelle va de 0,04 à 0,09 DT/m<sup>3</sup>.
- Il y a une valeur de substitution pour les fertilisants sur l'ensemble des coûts pour l'approvisionnement minéral de l'azote et du

18 Dans les régions arides, cela signifierait qu'on ne peut pratiquer l'agriculture d'aucune manière, ce qui ferait que dans les zones semi-arides on devrait se limiter à des cultures de subsistance qui résisteraient à la sécheresse en prenant dans leur production le risque d'aridité grandissant.



phosphate. Les valeurs de substitution pour les fertilisants d'azote seulement se situent entre 40 et 140 DT / ha. Mais ces avantages ne sont pas utilisés du tout par les agriculteurs en Tunisie. Au contraire, on applique généralement les mêmes quantités de fertilisants utilisées lors de l'irrigation conventionnelle.

En revanche, les inconvénients de l'utilisation des EUT se présentent de la manière suivante :

- Les restrictions juridiques de culture (en particulier pour les cultures maraîchères) limitent le choix des plantes cultivées de sorte qu'une optimisation du plan de culture (*cropping pattern*) soit impossible. Même si cela signifie qu'une entreprise cultive uniquement sur un terrain d'un hectare à la place des légumes des plantes de fourrage, l'utilité perdue s'élève jusqu'à 3000 DT.
- Manque de fiabilité de l'offre des eaux usées : Les eaux usées se produisent dans plusieurs sites de manière inégale et en faible quantité. Une enquête, menée auprès d'agriculteurs tunisiens sur sept différents périmètres irrigués à partir des EUT a montré que le peu de fiabilité de l'offre est une raison essentielle pour les agriculteurs de préférer les eaux conventionnelles.<sup>19</sup> Lors de la planification des périmètres, on doit donc tenir compte du fait que l'élasticité de la demande pour l'eau dans l'agriculture est faible.
- Des risques restants sanitaires par des germes pathogènes contenus dans des eaux usées. Les risques sont certes faibles, mais l'agriculteur a à peine la possibilité de s'informer là-dessus. Il demeure une insécurité résiduelle qui rend l'utilisation des EUT moins attrayante.
- Il existe des risques restants agroécologiques en ce qui concerne une salinisation ou une contamination à long terme des sols et en ce qui concerne les résidus des produits agricoles s'il n'y a pas de *monitoring* régulier ou si le nombre des paramètres examinés est trop

petit et ainsi survient le risque que le dommage reste non découvert. En particulier, le danger de salinisation dépend fortement des facteurs de gestion et donc du savoir-faire des agriculteurs. Mais en Tunisie les agriculteurs ne sont pas formés pour l'utilisation des eaux usées.

- La pratique avec les eaux usées n'est pas toujours agréable (gêne des odeurs) et génère un travail supplémentaire en comparaison de l'irrigation avec l'eau conventionnelle. On doit probablement enlever des immondices ou nettoyer à plusieurs reprises des tuyaux bouchés. Le désherbage fréquent (la quantité élevée d'azote renforçant la pousse de mauvaises herbes), le retrait de la couche craquelée du sol (en raison du dessèchement provoqué par le sodium) etc., sont des travaux supplémentaires qui peuvent survenir lors de l'utilisation des EUT.

Cette énumération d'avantages et d'inconvénients rend directement plausible la retenue des agriculteurs à l'égard de l'utilisation des EUT. Cela correspond plus particulièrement au fait que si l'on considère que les avantages de coûts de l'utilisation des EUT sont théoriquement très grands mais ne sont que partiellement utilisés dans la pratique. A présent, on analyse les différents facteurs par paragraphe.

### 3.2.2 Calcul comparatif des marges brutes

Pour gérer rentablement une exploitation agricole, les agriculteurs ne doivent non seulement optimiser un type de culture particulier, mais les différentes cultures doivent être aussi combinées de façon optimale dans un plan de culture (*cropping pattern*) pour pouvoir atteindre un revenu complet le plus haut possible. Cette organisation correspondrait également à une application optimale des facteurs de production où le travail joue un rôle essentiel en dehors des conditions de la localisation. Puisque la culture des plantes maraîchères est largement plus coûteuse en terme de travail que la culture des plantes fourragères ou des cé-

19 Cf. Bahri (2002) et Schüttrumpf / Mauderli (2002), p. 41.

réales, un agriculteur peut, en particulier s'il dirige une exploitation familiale, ne pas cultiver toute la superficie de son exploitation avec des cultures maraîchères ; au contraire, il ne peut investir qu'un nombre limité d'heures et les pointes de travail doivent être réparties régulièrement tout au long de l'année. En dehors des facteurs financiers, les plans de culture favorisés dépendent alors de la capacité de travail, du degré de mécanisation et de la structure organisationnelle d'une exploitation.

D'abord, il est important de quantifier les avantages et les inconvénients de coûts pour constater s'il existe pour l'exploitation agricole un avantage économique net ou si dans l'ensemble il y a plus de frais liés à l'utilisation des EUT. On examine les effets du prix bas pour les eaux usées (par rapport aux eaux conventionnelles) et la valeur de substitution pour les engrais. Ces effets se repercutent sur les marges brutes des différentes cultures. Des restrictions juridiques pour les cultures maraîchères amoindrissent les combinaisons possibles pour les agriculteurs. Ici, on ne peut émettre que des hypothèses sur la base des calculs des marges brutes car pour la Tunisie, jusqu'à ce jour, il n'y a pas de recherches empiriques concernant les modifications dans le plan de culture sous l'irrigation d'eaux usées.<sup>20</sup>

Le tableau 1 indique d'abord les marges brutes (MB) des différentes plantes cultivées en Tunisie.<sup>21</sup>

20 Cf. cependant travaux de Doppler et al. (2002); Wolff / Doppler (2002).

21 Les données utilisées proviennent d'une évaluation d'un projet entrepris à Medjerdatal (Tunisie) pour moderniser les périmètres. Les données concernant la valeur du marché et les frais d'exploitation proviennent de Blanken / Schüttrumpf (1997) ou bien se réfèrent à une production améliorée de cultures irriguées et sont donc plutôt considérées comme des valeurs maximales. Entre 1997 et 2003 il y a eu des modifications partielles relatives aux prix et aux coûts. Mais ces modifications sont seulement graduelles et les relations entre les cultures sont restées quasiment identiques ; il s'agit donc de données probantes.

Les plantations d'arbres et les cultures maraîchères fournissent, comme indiquées, des marges brutes largement plus élevées que les cultures de fourrage et de céréales. Supposons qu'une exploitation agricole de 10 ha puisse se permettre, à partir de son site et de son travail économique, de cultiver 2 ha en légumes ; elle devrait cependant passer de l'irrigation conventionnelle à l'usage de l'utilisation des EUT, ce qui lui causerait des coûts d'opportunité allant jusqu'à 6000 DT.

En revanche, la possibilité d'optimiser – en raison des avantages de coûts des eaux usées qui sont plus bas – sur les différents types de cultures est largement plus faible. Grâce à l'utilisation des EUT, on peut augmenter la marge brute d'environ 200 à 300 DT par hectare. Cela est, certes, une valeur considérable. Mais cette valeur représente au maximum 3000 DT pour l'ensemble de notre exploitation de 10 ha, c'est-à-dire, un montant qui ne peut couvrir que la moitié des coûts d'opportunité.

De manière concrète, on peut déduire d'autres conclusions à partir des marges brutes (MB).

1. Les cultures maraîchères apportent une MB de 7 fois plus haute que celle des cultures de fourrage et de 10 fois plus que celle des cultures de céréales. Seulement les plantations d'arbres fournissent une MB légèrement plus haute que les cultures maraîchères. Une exception existe pour les plantations d'oliviers (pour l'huile) qui sont non rentables et fournissent même des MB négatives.

Les plantations d'arbres et les cultures maraîchères sont évidemment prioritaires pour l'agriculteur du fait qu'elles sont plus rentables par rapport à d'autres types de cultures.<sup>22</sup> Les cultures maraîchères ont

22 Dans la présente MB on ne considère pas le fait que pendant les premières années les plantations des arbres ne n'apportent pas des rendements mais seulement des coûts. Habituellement, on calcule donc la rentabilité des cultures vivaces avec l'aide de *Cash-flows*. Mais il manque des données sur les coûts d'investissement pour

l'avantage, par rapport aux plantations d'arbres, d'être annuelles ou même d'être capable de fournir plusieurs rendements par an. Elles ne nécessitent pas de coûts d'investissements élevés comme l'aménagement des plantations et les agriculteurs peuvent, avec des cultures annuelles, réagir de manière plus flexible aux variations du marché.<sup>23</sup> Si l'agriculteur a le choix et la capacité de travail, il préférera donc nettement le maraîchage à l'arboriculture.

2. L'utilisation des EUT a, en tant que procédé (ici procédé c), d'importants avantages de coûts par rapport à l'irrigation avec de l'eau conventionnelle (procédé a et b). Ces avantages de coûts se manifestent à travers une MB beaucoup plus haute avec chaque type de culture. L'avantage le plus significatif au niveau des coûts résulte d'abord du prix modique des eaux usées (140–370 DT/ha selon les types de cultures) et ensuite des valeurs de substitutions pour des engrais (40–200 DT/ha selon les types de culture)<sup>24</sup>.

En fonction des types de culture, la valeur des avantages de coûts varie très fort par l'utilisation des EUT. Pour les plantes fourragères et les céréales dont on obtient dans l'ensemble qu'une MB relativement faible, l'irrigation avec des eaux usées peut être très rentable, c'est-à-dire qu'elle peut conduire à une augmentation de la MB jusqu'à 81 % pour des cultures fourragères et 66 % pour des céréales (blé dur et tendre) en fonction du prix de base pour l'eau conventionnelle. Dans le cas des cultures maraîchères et des plantations d'arbres déjà de grande valeur, l'avantage des coûts par rapport à la MB n'est pas

assez clair en comparaison d'autres cultures et l'augmentation de MB est de 11,5 à 21 % avec les cultures maraîchères et de 3 à 6 % avec les plantations d'arbres.

### 3.2.3 Besoin en eau et coûts

Comme explicité par le tableau n°2, les types de culture nécessitent en moyenne entre 2000 et plus de 5000 m<sup>3</sup> d'eau par ha. Les cultures maraîchères nécessitent par unité de surface environ plus de 2 fois et demie d'eau que les cultures céréalières. Sous la perspective économique cependant, le choix du type de culture est déterminé par la MB réalisable et non par la consommation d'eau, tant que l'eau est en principe disponible.

Ce n'est que lors de l'optimisation de chaque procédé individuel de production que les agriculteurs sont intéressés aussi à tenir les frais d'eau le plus bas possible car les coûts pour l'irrigation des cultures sont un facteur assez important dans les conditions-cadres, comme le tableau 2 l'indique. Dans de nombreux cas, elle est même le facteur de coût le plus important. La quote-part moyenne des coûts de l'eau dans l'irrigation conventionnelle représente 11 à 25 % de l'ensemble des coûts spéciaux par type de culture.

La structure des coûts totaux est beaucoup plus complexe par rapport aux légumes et par rapport aux plantations d'arbres que par rapport aux céréales et aux fourrages, et il existe pour les cultures précieuses des coûts énormément plus hauts concernant les pesticides, les engrais, la semence et le travail. Cela explique pourquoi les quotes-parts des coûts de l'eau sont bien plus élevées concernant les cultures fourragères et céréalières (28 et 25 %) que concernant les cultures arboricoles et maraîchères (11 et 16 %), bien que la consommation absolue soit beaucoup plus particulièrement élevée pour les cultures maraîchères.

---

le calculer. On doit donc faire la comparaison des MB des plantations d'arbres avec les MB des autres groupes de types de cultures sur cette base.

23 Cela est différent dans le cas des cultures de serre où la construction vitrée au cas échéant l'utilisation des bâches nécessitent également des investissements.

24 Dans ce cas on a considéré uniquement la valeur de substitution pour l'azote.

<b>Tableau 1: Marges brutes<sup>a</sup> et frais d'eau pour l'eau conventionnelle et les eaux usées</b>										
<b>Type de culture</b>	<b>Procédé a et b : Irrigation avec de l'eau conventionnelle (a : avec de l'eau souterraine et b : avec de l'eau de surface)</b>					<b>Procédé c : Eaux usées</b>				
	<b>Coûts spécifiques / ha</b>	<b>Dont frais d'eau / ha (Procédé a : 0,091 DT/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dont frais d'eau / ha (Procédé b : 0,040 DT/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Marge brute Procédé a (en DT/ha)</b>	<b>Marge brute Procédé b (en DT/ha)</b>	<b>Coûts spécifiques / ha</b>	<b>Dont frais pour les eaux usées en (DT/ha) (Prix: 0,020 DT/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Economie en engrais d'azote (en DT/ha)<sup>b</sup></b>	<b>Marge brute (en DT/ha)</b>	<b>Augmentation de la MB de la Variante c par rapport à a et b</b>
<b>Céréales</b>										
Blé dur (irrigué)	722	182		339,3	441	526	40	54	535	
Blé tendre	708	182		231,0	324	522	40	44	417	
<i>Moyenne Blé</i>	715	182 (25,4 %)		285,2	382,5	524	40 (6,8 %)	49 (6,9 %)	476	34-66 %
<b>Plantations d'arbres<sup>c</sup></b>										
Olives (de table)	1228	136,5		1272	1348	990,0	30	132	1510	
Poires	3090	318,5		10410	10629	2669,5	70	132	10831	
Pommes	728	318,5		5072	5250	2616,5	70	143	5463	
Pêches	2223	227,5		4927	5055	1891,5	50	154	5259	
Raisins de table	3017	273		5983	6101	2685,5	60	176	6315	
<i>Moyenne Plantations d'arbres et cultures vivaces</i>	2457	254,8 (10,4)		5533	5676	2170,6	56	147,4	5875,6	
Olives (Huile) <sup>d</sup>	1082	182 (16,8)		342	230	864	40	66	124	46-64 %
<b>Source :</b>	Propres calculs sur la base des données de Blanken / Schüttrumpf (1997) et Benabdallah, 1 <sup>ère</sup> Partie.									

Tableau 1 (suite) : Marges brutes <sup>a</sup> et frais d'eau pour l'eau conventionnelle et les eaux usées										
Type de culture	Procédé a et b : Eau conventionnelle					Procédé c : Eaux usées				Augmentation de la MB de la Variante c par rapport à a et b
	Coûts spécifiques / ha Total	Dont frais d'eau Procédé a : (0,091 DT/m <sup>3</sup> eau)	Dont frais d'eau Procédé b : (0,040 DT/m <sup>3</sup> eau)	Marge brute/ha (en DT/ha) Variante a	Coûts spécifiques/ha (DT/ha) Variante b	Coûts spécifiques / ha Total	Dont frais pour les eaux usées (Prix: 0,020 DT/m <sup>3</sup> )	Economie en engrais d'azote (en DT/ha) <sup>b</sup>	Marges brutes / ha (en DT/ha)	
<b>Plantes fourragères</b>										
Luzerne	1321	637	280	659	1016	774	140	50	1206	
Petits pois	638,8	273	120	151	304	425	60	-	364	
Maïs fourrage	1164,5	318,5	140	291	470	860,5	70	55	595	
Sorgho fourrager	1274	364	160	726	930	1006	80	55	1065	
Orge fourragère	795	273	120	205	358	538	60	44	462	
Moyenne plantes fourragères	1038	293,1 (28 %)	136,6	406,4	616	720,7	68,3 (9,2 %)	40,8 (5,6 %)	738,4	51-81 %
<b>Cultures maraichères</b>										
Tomates	3453	500,5	220	2797	3078	3062	110	88	3276	
Carottes	5593	546	180	1907	2273	5094	90	66	2429	
Melon	2491	500,5	220	4384	4665	2049	110	50,6	4825	
Poivron	3346	546	240	854	1160	2854	120	66	1346	
Oignons	2133	409,5	180	8175	8404	1613	90	200	8695	
Carottes	1409,8	273	120	2588	2741	1163	60	33	2834	
Artichaut	2908	637	280	2930	3287	2301	140	110	3537	
Fenouil	2190	364	160	1710	1914	1851	80	55	2049	
Moyenne Cultures maraichères	2940,4	472 (16 %)	200	2994,4	3340,3	2246	100 (4,1 %)	83,6 (3,7 %)	3623,9	11,5-21 %
Source :	Propres calculs sur la base des données de Blanken / Schüttrumpf (1997) et Benabdallah, 1 <sup>ère</sup> Partie.									

a) Les rendements ont été supposés identiques par rapport au type de culture pour les deux procédés « Eau conventionnelle » et « eaux usées ». b) On a calculé l'investissement pour l'engrais d'azote (sous forme de NO<sub>3</sub>). c) Dans une plantation existante, c'est-à-dire sans considération des coûts d'investissement et les années de croissance au cours desquelles aucun rendement n'a été réalisé. d) La MB pour les oliviers (pour l'huile) on été calculée séparément parce-que le résultat diverge trop fort ainsi des autres plantations d'arbres.

<b>Tableau 2 : Besoin d'eau et quotes-parts des coûts de l'eau des coûts d'exploitation totaux selon les différents procédés d'irrigation</b>						
Type de culture <sup>a</sup>	Besoin d'eau en m <sup>3</sup> /ha	Variante a : Eau conventionnelle		Variante c : Eaux usées		Comparaison des besoins d'eau
		Coûts de l'eau / ha (Variante a : 0,091 DT/m <sup>3</sup> )	Quote-part des coûts de l'eau Variante a (en %)	Coûts / ha (0,02 DT/m <sup>3</sup> Eaux usées)	Quote-part des coûts de l'eau des coûts totaux (en %)	
Céréales (blé)	2000	182	25	40	6,8	Céréales = 1
Cultures arboricoles	2670	243	11	53,3	2,6	1,3
Cultures fourragères	4100	293	28	68,3	9,2	2,1
Cultures maraîchères	5190	472	16	100	4,1	2,6
a : On a fondé les valeurs moyennes sur la base des types de cultures spécifiés dans les tableaux précédents.						
Source : Propres calculs sur la base de Blanken / Schüttrumpf (1997) et Benabdallah, 1 <sup>ère</sup> Partie.						

La relation coût valeur (concernant le produit) indique la marge de bénéfice d'un procédé de production (pour un type de culture) et explique le risque de production pour chaque procédé (Tableau A3). Plus les coûts et la valeur du produit sont très proches, c'est-à-dire plus la valeur du chiffre donné est élevée, plus la relation est défavorable. Ici, pour tous les différents groupes de types de cultures dans l'irrigation conventionnelle, c'est entre 0,52 et 0,75.

Les différences évidentes n'apparaissent qu'à la suite d'une analyse détaillée. Par exemple pour les poivrons, les petits pois et le maïs fourrager, il y a des relations coûts : valeur très étroite avec plus de 0,8 tandis que la relation pour les poivrons et les oignons est très ample avec moins de 0,3. En conséquence, il y a moins de risques à cultiver des poivrons et des oignons ainsi que des carottes, des pommes et des pêches. De grands risques de production sont liés aux plantes fourragères en particulier.

A travers l'utilisation des EUT, on peut améliorer nettement la relation de coûts : valeur pour des cultures fourragères et céréalières, c'est-à-dire que la relation s'amplifie de plus de 0,2 en moyenne.

En conséquence, le risque de production pour ces cultures diminue clairement si on irrigue avec des eaux usées, à condition que ces eaux soient disponibles selon les besoins. Les risques pour les cultures maraîchères et l'arboriculture restent quasi identiques en ce sens qu'ils ne diminuent que peu (de 0,1 ou de 1,6) quand on utilise des eaux usées.

### 3.2.4 La fiabilité dans la couverture du besoin en eau

La fiabilité dans la couverture du besoin d'eau est un autre facteur décisif de risque de production agricole concernant tout type de culture. La relation de coûts : valeur n'inclut pas ce facteur parce que là on suppose une mise à disposition adaptée aux besoins. Dans la pratique, la fiabilité de la couverture du besoin d'eau est très importante pour l'acceptation du procédé, particulièrement dans le cas de l'exploitation intensive des types de cultures « précieuses ».

D'abord, on doit offrir une certaine quantité minimale d'eaux usées pour fournir une superficie

d'exploitation suffisamment en eau, autrement les exploitations ne peuvent pas produire de façon compétitive dès le départ. Selon les agriculteurs, ces terrains sont souvent trop exigus en Tunisie et sur cette base, aucune capacité de concurrence ne peut être atteinte avec des exploitations conventionnelles.<sup>25</sup>

En outre, il est important qu'une capacité de stockage suffisamment grande puisse équilibrer les variations entre l'offre et la demande d'eau. Le besoin d'irrigation varie très fortement en fonction des quantités de précipitations, du type de culture et des différentes phases de croissance. La capacité de stockage de l'eau doit donc suffire pour couvrir les besoins les plus importants au moment propice. Les agriculteurs tunisiens se plaignent d'une offre insuffisante et non fiable de la part des fournisseurs et cela ne peut égaliser en aucun cas les variations de besoins.<sup>26</sup>

### 3.2.5 La sécurité hygiénique des eaux usées

Les maladies causées par la situation hygiénique des eaux usées sont, jusqu'à nos jours, très répandues dans les pays en voie de développement. Cela est du environ à 30 différents germes pathogènes qui menacent la santé publique. Beaucoup de ces germes sont contenus dans les eaux usées. La sécurité de ces eaux sur le plan hygiénique est donc la condition la plus importante pour l'institutionnalisation de l'utilisation des EUT.

Après que dans de nombreux pays au cours des années 70 et au début des années 80 des standards hygiéniques exagérés concernant la vulgarisation

de l'utilisation des EUT représentaient un handicap,<sup>27</sup> des chercheurs de l'OMS, de la Banque Mondiale et de l'*International reference centre for Waste Disposal* se sont réunis à Engelberg, en Suisse, en 1985 pour proposer de nouveaux standards basés sur les récentes découvertes en épidémiologie (Rapport de Engelberg). Sur cette base, on a fixé des directives internationales qui, depuis lors, sont une orientation importante pour la création des lois nationales.<sup>28</sup>

Le rapport de Engelbert ne provient pas d'une valeur légale rigide en ce qui concerne les différents germes pathologiques mais on y transpose les plus récentes découvertes épidémiologiques. Par conséquent, plusieurs facteurs doivent être réunis pour que les germes pathologiques puissent provoquer réellement des maladies chez des groupes démographiques concernés.

Dans l'utilisation des EUT en agriculture, deux groupes de population sont potentiellement touchés ; les utilisateurs des eaux usées et leurs familles qui sont en contact direct avec ces eaux et les consommateurs qui y entrent indirectement en contact à travers le produit.

Il existe un risque effectif pour ces deux groupes à risque lorsque toutes ces conditions suivantes sont réunies :

- Une dose infectieuse est atteinte sur le champ (le germe pathogène n'y meurt pas et même s'y propage),
- Une dose infectieuse atteint un porteur humain,
- L'homme se contamine,
- L'infection cause une maladie.

Si cette chaîne de conditions est interrompue à un seul niveau, on ne peut plus parler de risques effectifs mais de risques hypothétiques. Cela signifie qu'il existe en principe, des possibilités d'utiliser des eaux usées dans l'agriculture sans

25 Cf. Schüttrumpf / Mauderli (2002).

26 Cf. Par exemple Kairouan voir Schüttrumpf / Mauderli (2002), p. 47. Actuellement, les agriculteurs tunisiens irriguent avec les eaux usées prioritairement les céréales d'hivers et les fourrages d'hivers. Les besoins les plus hauts comprennent dans ce cas la période entre novembre et avril. Selon les agriculteurs, la fiabilité de l'eau pendant les mois d'été baisse de manière drastique et suffit seulement à irriguer les champs de façon sporadique. Cf. aussi Bahri (2002), p. 4.

27 Cf. Neubert (2002).

28 Cf. OMS (1989).

courir de risque et sans qu'il soit nécessaire de réduire à zéro le taux des germes. Il est donc possible aussi de formuler des standards qui rendent possible la réalisation des deux objectifs suivants : l'utilisation systématique de l'eau usée traitée et la protection sécurisée des utilisateurs et des consommateurs.

Une estimation du risque réel pour la santé publique dans l'utilisation des EUT ne peut s'effectuer logiquement qu'à travers des études épidémiologiques. Pour confirmer et pondérer la corrélation entre l'apparition des maladies et une certaine manière d'utiliser les eaux usées, il est nécessaire d'établir une comparaison systématique des maladies des groupes démographiques qui sont en contact avec l'eau usée avec celles des groupes qui ne le sont pas.

Une étude de la Banque mondiale – dans laquelle toutes les études épidémiologiques disponibles à ce jour ont été exploitées – a donné, entre autre, les résultats suivants :

- L'irrigation avec de l'eau usée non traitée cause une apparition significativement accrue de nématodes infectieux et d'infections bactériennes chez les consommateurs et les utili-

sateurs de ces eaux. Le risque d'infections virales n'est pas augmenté.

- L'irrigation avec de l'eau usée traitée ne cause pas une apparition accrue de ces infections.

Par conséquent, si l'on veut atteindre une utilisation sans condition de l'eau usée traitée, celle-ci devrait avoir les normes hygiéniques suivantes :

- < 1 nématode intestinal vivant / l
- < 1000 coliformes fécaux (CF) / 100 ml.

Les indicateurs des *oeufs de nématodes* et des *coliformes fécaux* suffisent pour évaluer la charge hygiénique des eaux usées domestiques.

Pour l'épuration des eaux usées, cela signifie qu'en moyenne, environ 99 % des oeufs de nématodes contenus dans ces eaux doit être éliminée pendant le traitement pour atteindre les valeurs exigées. En ce qui concerne les bactéries, la qualité des eaux usées communales moyennes doit en outre être réduite lors du nettoyage d'au moins quatre unités logarithmiques. On peut accepter une capacité de purification plus basse si un plus long chemin de transport ou un plus long stockage

**Tableau 3: Salinité moyenne des eaux usées en Tunisie**

dS/m	Estimation selon Bahri (2002) / Tunisie	Estimation selon Achtnich (1980) Ouvrage de référence sur la culture irriguée (Salinité moyenne/m)	Quantité d'eau usée produite en Tunisie par an (m <sup>3</sup> )	Pourcentage des eaux usées (%)	Restrictions de culture selon la FAO (1994)
0,7–3,0	Légèrement salé	Entre moyennement et fortement salé (0,7–1,5 = moyennement, 1,5–3,0 = fortement)	14 006 664	12	De restrictions faibles à restrictions moyennes
3,0–6,0	Moyennement salé	Très fortement salé (> 3,0)	92 740 287	80	Fortes restrictions
6,0–14,0	Fortement salé	Plus classifié	9 231 807	8	Non classifié
Total			115 978 758	100	

Source : Élaboration personnelle sur la base de Bahri (2002), Achtnich (1980) et FAO (1994)



conduit naturellement à une diminution de la concentration bactérienne dans les eaux usées.

Sans un traitement complémentaire (désinfection), cette valeur ne peut être atteinte pendant l'épuration conventionnelle des eaux usées.<sup>29</sup> En effet, les charges réellement mesurées en Tunisie confirment également cela.<sup>30</sup>

Depuis 1989, d'autres études épidémiologiques ont été réalisées.<sup>31</sup> Sur l'existence des coliformes fécaux, toutes ces études ne donnent pas d'évidence mettant en question les résultats trouvés à Engelberg. Par contre, on mentionne entre temps quelques indications restrictives pour les œufs de nématodes. Par conséquent, il existe un risque décelable si des plantes sauvages contaminées sont consommées dans la périphérie des périmètres. Il en va de même pour les légumes qui sont longuement stockés avant la consommation. On propose donc dans les études, de fixer une valeur indicative d'une puissance 10 plus basse (0,1 œuf de nématode par litre) pour ces endroits et dans les pays où les plantes sauvages sont cueillies et mangées crues. Ceci est valable également si on ne peut pas exclure la possibilité que les enfants des agriculteurs ou des ouvriers qui utilisent l'eau usée entrent en contact direct avec cette eau.

Dans le cas où il existe des restrictions d'application concernant l'utilisation des eaux usées tel qu'en Tunisie, aucune valeur indicative sur la charge bactérienne tolérable n'est indiquée dans les directives de l'OMS puisque jusque là, aucun risque n'avait été découvert. Cet état de connaissance est légèrement corrigé par les études récentes car au Mexique on a découvert un certain risque de maladies de diarrhée chez des enfants qui ont un contact direct avec des eaux usées partiellement épurées. Dans les restrictions d'application en vigueur, les valeurs indicatives devraient se situer environ entre  $10^5$  et  $10^3$  CF, pour protéger

complètement ces enfants. En principe, ces valeurs peuvent être atteintes sans des précautions particulières.

## 3.2.6 Salinité et tolérance au sel

### 3.2.6.1 Salinité

L'utilisation des EUT est une option acceptable pour les agriculteurs seulement si la qualité des eaux usées est aussi, eu égard à d'autres paramètres, qualifiée pour l'irrigation. En Tunisie – tout comme dans beaucoup d'autres pays de la région – le taux élevé de salinité des eaux usées est le facteur limitant le plus important<sup>32</sup> en dehors de la charge microbiologique.

La salinité des ressources hydriques tunisiennes, en particulier celle de la nappe phréatique, dépasse largement déjà avant l'usage domestique la qualité appropriée pour l'irrigation<sup>33</sup> et dans les ménages, il se fait une augmentation croissante de la salinité de l'eau. La méthode souvent pratiquée ailleurs et qui consiste à diminuer la salinité des eaux usées par le mélange avec de l'eau conventionnelle (*blending*), n'est donc pas praticable en Tunisie dans la plupart des cas.

Dans le cadre de la technique de purification conventionnelle, on n'élimine pas des sels des eaux usées. La norme tunisienne (NT 106.03, 1989) fixe une valeur limite, pour une salinité encore tolérable pour l'eau d'irrigation, de  $< 7000 \mu\text{S/cm}$  ( $< 7 \text{ dS/m}$ ). Cette valeur dépasse déjà, selon les valeurs d'orientation internationales, le niveau de salinité tolérable de presque toutes les cultures et elle n'est encore tolérée que par les betteraves sucrières, le coton, quelques cultures de palmier et l'orge (avec une baisse de rendement).

---

29 Cf. OMS (1989).

30 Cf. Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

31 Par exemple, par la London School of Hygiene and Tropical Medicine et par la Leeds University. Cf. Blumenthal / Peasey (2000).

---

32 Cf. entre autres, Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

33 Cf. entre autres, Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

<b>Aperçu 3 : Tolérance au sel des différents types de plantes cultivées en Tunisie</b>	
<b>Types de culture</b>	<b>Tolérance au sel sans réductions de rendement en dS/ (g/l) sous des conditions tunisiennes (Classification selon Aboaziz, 1997)</b>
Toutes les plantes	< 1,1 non classifié
Haricots, soja, oignons, carottes, agrumes, amandiers, pêchers, pruniers, pommiers, Poiriers,	Jusqu'à 1,1(0,7) ) (Haute sensibilité)
Maïs, luzerne, poivrons, tomates, pommes de terre, pastèques, raisins, concombres, pamplemousses	Jusqu'à 3,1 (2,0) (sensibilité modérée)
Orge, luzerne, choux, tournesols, olives, grenades	Jusqu'à 4,7 (3,0) (tolérance de sel moyenne)
Coton, betteraves sucrières, orge, cultures de palme	Jusqu'à 7,8 (5,0) (haute tolérance de sel)
Source: BWP / GTZ (2001), p. 29	

<b>Aperçu 4: Tolérance au sel des différents types de plantes cultivées selon les valeurs indicatives internationales</b>	
<b>Tolérance au sel</b>	<b>Types de culture</b>
Haute tolérance au sel	Orge, coton, betteraves, herbes et quelques cultures fourragères
	Asparagus (Par exemple : Asperges)
Tolérance moyenne au sel	Blé, certaines cultures fourragères
	Artichauts, courgettes, betteraves rouges, olives, maïs, mil.
Sensibilité modérée au sel	Haricot, tournesols, luzerne, pamplemousse
	Brocoli, choux, choux-fleurs, courgettes, melons, poivrons, tomates, épinards
(haute ) sensibilité au sel	Haricots, Carottes, Oignons, Poivrons, Amandes, Agrumes, Pêches
Source : Synthèse d'après FAO (1994), Tableau 6, p. 21	

Selon les standards classiques d'irrigation une salinité de 0,48–1,44 g/l (= jusqu'à 2,55 dS/m) est déjà classé entre « modéré et haut » et n'est appropriée comme eau d'irrigation que pour des plantes qui tolèrent bien la salinité. Au-delà de 1,44 g/l, on parle déjà, dans les manuels d'irrigation, d'un fort taux de salinité de l'eau.<sup>34</sup> Comme le tableau 3 l'indique, la salinité des eaux usées tunisiennes est bien au-dessus de ces valeurs. L'évaluation de la salinité est, en Tunisie même, clairement moins stricte que dans le contexte international. Probablement on accepte

que certaines pertes de rendement soient inévitables à cause des hautes salinités ou plutôt les attentes de rendement s'y sont adaptées au fil du temps.

La tolérance au sel des différents types de plantes cultivées est très variable et dépend très fortement de co-variables (conditions du sol, climat, facteurs de gestion, technique d'irrigation). Des expériences menées pendant des années sous des conditions de la Tunisie montrent que beaucoup de cultures peuvent, malgré les taux de salinité très

34 Cf. aussi Achtnich (1980), p. 111.

élevés, y atteindre des rendements acceptables (voir aperçu 3).<sup>35</sup>

L'échelle de mesure la plus habituelle pour l'enregistrement de la tolérance spécifique pour chaque type de culture est la valeur guide de la FAO (1994). On peut donner les indications suivantes concernant les cultures les plus importantes en Tunisie :

La comparaison du tableau 3 avec les aperçus 3 et 4, montre que la plupart, c'est-à-dire que près de 80 % des eaux usées produites en Tunisie, est si salée que pour un grand nombre de cultures (particulièrement les cultures maraîchères) on doit s'attendre à une réduction de rendement.

Comme déjà mentionné cependant, la tolérance des plantes cultivées au sel est une valeur relative qui ne dépend pas seulement du taux de salinité dans l'eau mais aussi fortement de co-variables. Les indications dans la littérature se réfèrent généralement aux conditions de sol de moyenne qualité. Au-delà, on doit compter avec des pertes de rendement croissant de façon linéaire. Pour évaluer définitivement la tolérance au sel, on doit nécessairement considérer les facteurs du site qui sont expliqués dans les passages suivants.

### 3.2.6.2 La tolérance au sel

Parmi les facteurs liés au site, les conditions du sol jouent le rôle déterminant pour la tolérance au sel des plantes cultivées. Une condition importante pour lutter à long terme contre l'excès de sel, est d'abord la perméabilité du sol. Ainsi, des sols sablonneux sont beaucoup plus tolérants au sel que des sols argileux, et des sols glaiseux possèdent une tolérance moyenne.

L'aperçu 5 montre le niveau de rendement relatif des plantes cultivées, de la catégorie « sensible » à la catégorie « tolérante » au sel, en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation et de l'extrait d'eau du sol. Dans le cas d'une irrigation adéquate, la salinité de l'extrait d'eau de sol est à peu près plus élevée pour le facteur 1,5 que la salinité de l'eau d'irrigation. Mais lors d'un bon aménagement, la teneur se stabilise sur cette valeur, c'est-à-dire qu'elle n'augmente plus.<sup>36</sup>

Le tableau 4 indique que dans l'ensemble, la tolérance au sel des différents types de plantes varie en fonction du type de sols autour du facteur 6.

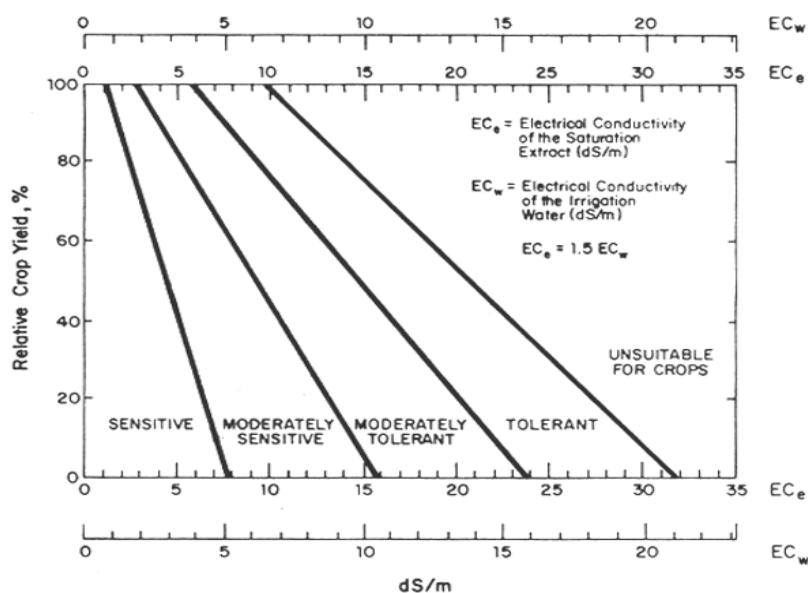
En conséquence, la connaissance de la salinité d'une eau ne suffit pas pour juger si cette eau est appropriée pour l'irrigation. L'essentiel est la considération des qualités de sol du site ainsi que les différents types de cultures.

Pour le niveau de la tolérance au sel, la composition des cations – qui représentent en commun la salinité – joue un rôle parce qu'ils ont des effets différents sur les plantes et le sol. Le sodium est particulièrement fort accumulé dans les eaux usées et c'est pour cela qu'il faut lui donner une importance particulière. Le sol contenant beaucoup de sodium a tendance à s'ensabler et en séchant, il forme des croûtes épaisses qui rendent plus difficile la croissance des plantes. De trop hautes quantités de magnésium peuvent aussi affecter le rendement des plantes, et des concentrations plus élevées de chlorure endommagent certains arbustes et arbres fruitiers. Par conséquent, l'analyse des différents ions est importante pour évaluer l'aptitude d'une qualité d'eau à irriguer.

En somme, lors de l'évaluation d'un sol concernant sa qualification pour l'irrigation avec des eaux usées, on doit considérer qu'il y a, en dehors de la salinité, encore d'autres substances polluantes qui rentrent dans le sol et qui agissent de ma-

35 Les valeurs moyennes de la conductivité électrique des eaux usées provenant des stations de purification – financées par KfW – STEP Téboursouk (1.526 µS/cm) et STEP Bou Salem (2.430 µS/cm) sont plutôt estimées basses pour la Tunisie, cela veut dire que ces écoulements sont donc appropriés pour l'irrigation de divers types de cultures.

36 Cf. aussi tableau A2 (Annexe).

**Aperçu 5 : Relation entre salinité et tolérance au sel**


Source : FAO (1994), p. 18

**Tableau 4 : Valeurs indicatives pour la classification de la qualité de l'eau d'irrigation**  
(fixées en Algérie)

Type de sol	Tolérance de sel des plantes $\mu\text{S}/\text{cm}$ sous $25^\circ\text{C}$ dans un extrait de saturation					
	< 4 000	4 000 bis 10 000	>10 000			
Valeurs maximales pour l'eau d'irrigation $\mu\text{S}/\text{cm}$ sous $25^\circ\text{C}$ , ou (entre parenthèse) salinité totale en mg/l						
	Toutes les plantes	Toutes les plantes	Légumes	Céréales et autres cultures des champs	Plantes fourragères	Dattiers
Sablonneux	2500 (1600)	6500 (4160)	8000 (5120)	10000 (6400)	12000 (7680)	15000–20000 (9600–12800)
Glaieux-Sablonneux	1600 (1024)	4000 (2560)	4500 (2880)	6000 (3840)	7000 (4480)	6000–10000 (3840–6400)
Glaieux	1000 (640)	3000 (1920)	3500 (2240)	4500 (2880)	5000 (3200)	
Glaieux-argileux	800 (512)	2000 (1280)	2400 (1536)	3500 (2240)	3500 (2240)	
Argileux	400 (256)	1000 (640)	1600 (1024)	1800 (1152)	1800 (1152)	

Source : Achtnich (1980), p. 113

nière spécifique sur les différentes conditions du sol. Dans ce cas, il existe partiellement des exigences contradictoires concernant les qualités souhaitées du sol.

Une haute perméabilité du sol est, certes, positive pour la tolérance au sel mais, elle s'accompagne souvent d'une moindre capacité d'adsorption du sol concernant des substances polluantes et des substances nutritives. On doit évaluer négativement ce fait parce qu'il dérange la diminution des substances polluante et augmente le danger de lessivage des substances nutritives. Une certaine capacité de rétention d'eau est en outre importante afin que les plantes puissent utiliser efficacement l'eau pour leur croissance.

Puisque le potentiel d'oxydoréduction qui indique la concentration d'oxygène dans l'eau est moins élevé dans les eaux usées traitées que dans l'eau conventionnelle, une bonne aération du sol est, en outre, importante parce que les conditions biochimiques du sol peuvent se transformer à la longue et diminuer son potentiel de rendement.<sup>37</sup>

En somme, des sols sablonneux légèrement argileux et possédant une couche d'humus satisfont très vraisemblablement les exigences mentionnées. Des sols trop lourds et des sols trop sablonneux ne conviennent pas à l'alimentation avec des eaux usées.

### 3.2.7 Teneur de substances nutritives des eaux usées

Les substances nutritives qui pénètrent dans le sol avec les eaux usées sont particulièrement des composés d'azote sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4$ ), de nitrate ( $\text{NO}_3$ ) et de phosphate ( $\text{P}_2\text{O}_4$ ). La teneur de ces substances est généralement si haute qu'elle peut couvrir l'ensemble des besoins en azote et en phosphate des plantes. Par les calculs des marges brutes, on a déjà montré que cela peut être un avantage évident pour les agriculteurs au niveau des coûts. En fonction du type de culture,

on peut économiser de 45 à 200 DT/ha d'engrais, soit 3,7 à 6,9 % de l'ensemble des frais d'exploitation par hectare (cf. tableau 1).<sup>38</sup>

Cependant, un problème réside dans le fait que le besoin de substances nutritives ne se manifeste pas de manière régulière chez les plantes. Tandis qu'il est haut dans la première phase de croissance, il est largement plus faible dans les phases de croissance ultérieures, de sorte que l'irrigation avec les eaux usées peut causer une teneur excessive de ses substances, en particulier concernant l'azote. Cela conduit, selon le type de culture, à une croissance végétative excessive plus ou moins prononcée. Il s'ensuit des diminutions de rendement parce que la formation de fruits est perturbée.

Des plantes sensibles réagissent négativement déjà à une concentration totale de 5 mg/l d'azote. Toutefois, la plupart des plantes cultivées sont relativement insensibles et réagissent négativement seulement à partir d'un seuil d'environ 30 mg/l d'azote. On indique donc, dans les directives existantes sur les taux d'écoulement adéquats, des valeurs maximales pour les teneurs des substances nutritives. Selon la norme tunisienne NT 106.02, les eaux usées doivent contenir jusqu'à 50 mg/l  $\text{NO}_3$  dans l'écoulement, une valeur qui causerait déjà une réduction de rendement chez la plupart des plantes cultivées. En revanche, la norme NT 106.03 pour les eaux usées réutilisées ne contient aucune valeur concernant le  $\text{NO}_3$ .<sup>39</sup> L'auteur ne dispose pas de connaissances en ce qui concerne les stations existantes, et le dépassement des valeurs limites en Tunisie.

Dans la littérature relative à ce sujet, on trouve très peu de références sur les teneurs d'azote dans les eaux usées ainsi que sur les dangers de l'excès de fertilisation. En somme, on peut supposer qu'en cela, il n'y a, certes, aucun problème clé

37 Cf. Horn et al. (1980).

38 Ici, on a calculé seulement les économies des coûts probables pour le nitrate-azote. Cela veut dire que les possibilités d'économiser sont encore nettement plus grandes.

39 Cf. Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

mais, dans certains cas, il arrive que des diminutions de rendement du fait de l'excès de fertilisation, puissent se produire. Puisque les eaux usées contiennent généralement de 10 à 50 mg/l d'azote total ( $1 \text{ mg/l NO}_3\text{-N} = 1 \text{ kg N/1000 m}^3 \text{ d'eau}$ ), il y a une grande probabilité que de temps à autre, des effets négatifs pourraient apparaître. Cela est particulièrement valable pour les eaux usées des pays arides qui sont la plupart du temps très concentrées.

De trop hautes teneurs d'azote peuvent causer, outre des réductions de rendement, une prolifération extrême des algues dans les canaux d'eaux usées et une croissance accrue des mauvaises herbes. Dans le processus d'évaluation des eaux usées et du choix des types de plantes cultivées adéquates à l'irrigation, il est nécessaire donc d'observer les teneurs des substances nutritives des eaux usées ainsi que le niveau de tolérance des différentes plantes aux substances nutritives.

Si l'azote se produit particulièrement sous forme de nitrate ( $\text{NO}_3$ ), il y a déjà là en outre un risque environnemental car déjà là, les concentrations basses de nitrite et de nitrate sont très problématiques. Le degré de risque dépend des facteurs pédologiques et du niveau de la nappe phréatique, de ce fait, il est extrêmement lié au site.

Le fait que les agriculteurs tunisiens n'utilisent pas, en règle générale, la valeur de substitution des eaux usées comme fertilisant s'expliquerait par leur comportement de refus des risques. Ce comportement contre les risques est connu dans le monde entier ; il prend toujours effet lorsque les agriculteurs travaillent aux limites de la rentabilité et en même temps, manquent du savoir-faire nécessaire pour évaluer exactement les relations de quantité concernant la fertilisation. Dans ce cas, un comportement contre les risques signifie que des agriculteurs préfèrent trop fertiliser plutôt que de prendre le risque de subir des pertes de rendement dues à une fertilisation insuffisante. Ce comportement est compréhensible. Des pertes de rendements peuvent provenir aussi d'une fertilisation excessive, et probablement à une échelle trop nuancée au point que les agriculteurs ne peuvent pas l'intégrer dans leur calcul.

Le tableau 5 montre des valeurs d'orientation internationales de la FAO, concernant la salinité et les teneurs des substances nutritives, pour mesurer la qualité des eaux usées pour l'irrigation agricole.

Il ressort du tableau 5 que la technique d'irrigation a aussi une influence sur le niveau de tolérance des plantes cultivées concernant les eaux usées. Mais toute technique d'irrigation ne peut être utilisée de la même façon pour chaque type de culture. Ici, on se réfère à la littérature qui s'y rapporte.<sup>40</sup>

Dans la section suivante, on explique encore quelques-uns des facteurs d'aménagement les plus importants à considérer dans la pratique avec les eaux usées salées

### 3.2.8 Facteurs de l'aménagement agricole

#### 3.2.8.1 Leaching Requirement

On peut limiter à long terme beaucoup d'inconvénients apportés par les eaux usées, en fonction de leur composition de substances par rapport à l'eau conventionnelle, si un aménagement agricole est bien adapté.

Le facteur le plus important pour considérer la salinité, est l'offre d'une dite *Leaching-Fraktion* (LF) (ou *Leaching Requirement*, LR). Cette quantité d'eau, qui dépasse le besoin d'eau réel de la plante, conduit les sels de la zone de la racine dans des strates de sols plus profondes avant d'être évacuée par le système du drainage. Par le maintien de la LF, on empêche que les sels s'accumulent à cause de l'évaporation de l'eau, sur la surface du sol pour la saler et y former des croûtes. Une LF adéquate peut à la longue empêcher l'augmentation du sel des sols. Mais il faut considérer qu'un drainage devrait suivre dans beaucoup de sites après l'irrigation.

Généralement, on fixe la LF comme la part du pourcentage de la quantité d'irrigation qui dépasse

40 Cf. FAO (1994).

<b>Tableau 5 : Valeurs guidées pour l'évaluation de la qualité des eaux usées pour l'irrigation agricole</b>				
Problème potentiel pour l'irrigation	Unité	Degré de limitation nécessaire		
		Aucune	De faible à moyen	Fort
<b>Salinité</b>				
EC <sub>w</sub> <sup>1</sup>	dS/m	< 0,7	0,7–3,0	> 3,0
TDS	Mg/l	< 450	450–2000	> 2000
<b>Infiltration</b>				
SAR <sup>2</sup> = 0–3 and EC <sub>w</sub>		> 0,7	0,7–0,2	< 0,2
3–6		> 1,2	1,2–0,3	< 0,3
6–12		> 1,9	1,9–0,5	< 0,5
12–20		> 2,9	2,9–1,3	< 1,3
20–40		> 5,0	5,0–2,9	< 2,9
<b>Toxicité de certains ions</b>				
<b>Sodium (Na)</b>				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3–9	> 9
Irrigation par aspersion	Me/l	< 3	> 3	
<b>Chlorure (Cl)</b>				
Irrigation de surface	Me/l	< 4	4–10	> 10
Irrigation par aspersion	M <sup>3</sup> /l	< 3	> 3	
Bore (B)	Mg/l	< 0,7	0,7–3,0	> 3,0
Oligo-éléments (ici non considérés)				
<b>Divers</b>				
Azote (NO <sub>3</sub> -N) <sup>3</sup>	Mg/l	< 5	5–30	> 30
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	Me/l	< 1,5	1,5–8,5	> 8,5
PH	Variation normale 6,5–8			
<sup>1</sup> EC <sub>w</sub> Conductivité électrique moyenne en dS/m à 25°C <sup>2</sup> SAR Taux d'adsorption moyen <sup>3</sup> NO <sub>3</sub> -N Taux de nitrate-azote moyen				
Source : FAO (1994)				

le besoin net des plantes. Une LF de 0,2 signifie donc que 20 % de la quantité d'irrigation totale sert à dessaler la zone de racine. L'efficacité de cette technique dépend des conditions physiques du sol et elle est évidemment plus haute pour les sols sablonneux que pour les sols argileux (100 % contre 30–60 %). D'autres facteurs importants par rapport à l'efficacité de la LF sont les moments

propices des *dons du Leaching* et le système d'irrigation concerné.<sup>41</sup>

Le niveau de la LR dépend de la sensibilité des plantes au sel et de la salinité de l'eau ; Il se calcule, pour l'irrigation de surface ou de sillon, se-

41 Cf. BWP / GTZ (2003) ; ici on donne des informations approfondies au sujet de la LF.

lon la formule suivante qui a été empiriquement déterminée<sup>42</sup> :

$$LF = \frac{EC_{iw}}{5(EC_e) - EC_{iw}}$$

$EC_e$  = Salinité moyenne de l'extrait de sol tolérée par les types de cultures produites (conductivité électrique).

$EC_{iw}$  = Salinité des eaux usées (irrigation water)

Cependant, la formule suivante est valable pour l'irrigation au goutte-à-goutte :

$$LF = \frac{EC_{iw}}{2(\max EC_e)}$$

L'expression  $2(\max EC_e)$  est déterminée empiriquement et se réfère à l'irrigation au goutte-à-goutte qui se passe dans des intervalles plus courts, et dont la LR est en général plus petite que dans des procédés moins efficaces.

Si les agriculteurs ne reçoivent aucune formation particulière par rapport à l'aménagement de l'eau d'irrigation salée, ils font la LR la plupart du temps intuitivement ; ainsi, le niveau de la LR est en général trop haut. Ici aussi, les agriculteurs se comportent en fonction de leur situation économique, en s'opposant plutôt au risque, cela veut dire qu'ils préfèrent irriguer davantage que de prendre le risque d'enregistrer des pertes de rendement à cause d'une irrigation trop restrictive.

Pour la pratique, il est important d'exprimer des LF comme des recommandations qui sont adaptées à la situation locale, faciles à comprendre et qui se font calculer plus rapidement par l'agriculteur lui-même. En Jordanie par exemple, dans le cadre des *Brackish Water Projects* appuyés par le GTZ, on recommande aux agriculteurs dans la vallée du Jourdain: Pour une teneur de sel d'environ 2 g/l, une LR de 10 % et

pour des teneurs qui dépassent 3 g/l, une LR d'environ 30 %. La base de cette recommandation qui était élaborée dans le cadre de ce programme, particulièrement pour de l'eau contenant une salinité de plus de 1,5 g/l, est la formule suivante facilement applicable :

$$LR (\%) = (EC_{iw} - 2) \times 10$$

$EC_{iw}$  = Conductivité électrique de l'eau d'irrigation en dS/m

Avec cette recommandation, on donne aux agriculteurs une valeur acceptable qui considère aussi les comportements des agriculteurs contre les risques, mais en même temps, on agit contre la tendance d'une irrigation excessive et exagérée.<sup>43</sup>

Pour reconnaître un début d'accumulation à temps, quand on travaille avec de hautes teneurs en sel, il faut, malgré tout, pratiquer un monitoring continu des teneurs du sel dans le sol.

### 3.2.8.2 Autres facteurs de l'aménagement

Une fertilisation organique suffisante et l'application exacte de la stratégie et de la technique de l'irrigation sont, en particulier, d'autres facteurs de l'aménagement qui luttent contre l'augmentation de la salinité du sol.

La fertilisation organique augmente la teneur d'humus du sol et donc, sa capacité d'amortir. Elle veille en outre à une richesse des organismes vivants du sol et augmente ainsi la capacité du sol à diminuer la charge organique résiduelle des eaux usées. Même si en Tunisie on poursuit une politique de l'eau comparativement en progrès, cela ne vaut pas pour l'efficacité du procédé d'irrigation le plus fréquemment utilisé. En Tunisie, 57 % des eaux utilisées sont utilisées à l'aide d'irrigation avec des sprinklers et 48 % à l'aide

42 FAO (1992).

43 Cf. BWP / GTZ (2003).



d'irrigation de surface.<sup>44</sup> Tous ces deux procédés (particulièrement le deuxième) montrent une faible efficacité dans l'utilisation de l'eau. Lors de l'irrigation avec les sprinklers, on doit s'attendre en plus à de hautes teneurs de vaporisation, au danger de salinité excessive du sol et probablement aussi au fait que les tuyaux peuvent se boucher, si le trouble de l'eau est élevé.

En Israël, l'irrigation souterraine est largement développée. Dans ce type d'irrigation on peut, par le dosage exact, garder la LR le plus bas possible en empêchant en même temps que la vaporisation cause une salinité excessive de la surface du sol. Une telle forte efficacité de l'utilisation de l'eau nécessite non seulement une technique d'irrigation élaborée mais un ensemble d'aménagement agricole très efficace. Des systèmes d'irrigation moderne comme l'irrigation au goutte-à-goutte exige beaucoup d'investissements et demande en conséquence la production de types de cultures de haute valeur.

Pour l'irrigation avec des eaux usées, la création de tels systèmes modernes est problématique à cause des bas prix des eaux usées. La modernisation des systèmes d'irrigation devrait d'abord se faire pour des systèmes utilisant de l'eau conventionnelle chère. Là, les installations s'amortissent le plus vite possible et contribuent vraisemblablement à épargner les ressources les plus précieuses (nappe phréatique).

### 3.2.9 Facteurs socioculturels et autres

Dans les pays donateurs particulièrement, on exprime toujours la présomption que des facteurs socioculturels ou religieux empêchent de façon déterminante l'acceptation de l'utilisation des EUT dans des pays islamiques.

Pour justifier cela, il n'existe jusqu'à ce jour ni une argumentation plausible, ni des indications empiriques. Certes, on peut observer que dans les pays islamiques on remarque en général une plus

grande réticence des hommes par rapport à des thèmes tels que « élimination et matières fécales », comme dans certaines cultures marquées par le christianisme. Même cette hypothèse paraît trop vague cependant.

Mais de multiples exemples pratiques d'utilisation des eaux usées, particulièrement aussi dans des pays fortement marqués par l'Islam comme l'Arabie Saoudite, confirment que cette réticence envers l'utilisation des EUT – si elle existe réellement – ne peut jouer seulement qu'un rôle secondaire.<sup>45</sup>

L'utilisation des EUT est déjà légitimée dans beaucoup de pays islamiques par de nombreux dirigeants religieux officiels ; En Arabie Saoudite, aux Emirats Arabes Unis et à Oman, l'utilisation des EUT a été proclamée dans des déclarations religieuses comme une possibilité d'irrigation acceptable.

En somme, on observe que l'acceptation de l'utilisation des EUT s'élève avec le degré de l'épuration des eaux usées. Si les eaux usées ont déjà parcouru une longue distance de transport et ne sont donc pas directement perceptibles comme provenant d'une station d'épuration, le procédé est plus accepté positivement par les agriculteurs.<sup>46</sup> Ces observations ne confirment en aucune manière des liens socioculturels ou un fond religieux, parce que de telles observations pourraient se faire aussi dans des pays chrétiens. En outre, une réticence peut-être absolument rationnelle du point de vue hygiénique, comme évoqué dans la section précédente.

Le vrai problème réside dans l'information insuffisante des agriculteurs et dans le fait qu'ils ne peuvent pas vraiment évaluer le risque résiduel. Pour réaliser le procédé avec plus de succès, il

44 Cf. Bahri (2002).

45 Les experts qui se sont réunis à un *Workshop on Water Reuse* au Caire du 2 - 5 juillet 2001 parviennent à la même conclusion. Cf. World Bank / Swiss Agency for Development Cooperation (2001), p. 5.

46 Cf. Schüttrumpf (1999) et Schüttrumpf / Mauderli (2002), p. 41.

semble donc logique de traiter l'incertitude des agriculteurs par rapport aux substances probablement dangereuses contenues dans les eaux usées, en les informant mieux sur les avantages et les risques liés à l'utilisation des EUT.

En outre, le souhait d'une « commodité » plus grande est une requête compréhensible des agriculteurs. Le fait est que le contact avec les eaux usées est désagréable, quand il est lié à du travail supplémentaire, à des mauvaises odeurs et à la vue des immondices. Cela est sans aucun doute compréhensible, indépendamment de la religion ou de la culture.

### 3.3 Les perspectives de l'ensemble de la société et des consommateurs des produits

Habituellement l'eau potable est utilisée une seule fois, ensuite elle est traitée et déversée dans des cours d'eaux. Il en est de même dans le secteur de l'irrigation ; en principe là aussi, l'eau de qualité potable est utilisée seulement une fois avant de s'évaporer (évapotranspiration), de s'infiltrer ou de passer dans le produit.

Dans l'évaluation de l'augmentation de l'efficacité par l'utilisation des EUT, on peut prendre l'utilisation unique de l'eau comme valeur de référence.<sup>47</sup> Le fait que la même eau soit utilisée deux fois dans la réutilisation au lieu d'une seule fois, augmente en conséquence l'efficacité potentielle de l'utilisation de l'eau de 100 % pour chaque litre réutilisé. Parce que lors de l'utilisation de l'eau potable, environ 25 à 50 % de l'eau offerte se « perdent » dans le système (ils sont bus / bouillis / ne sont pas pris en compte ou disparaissent par des fuites), une utilisation de 50 % des eaux usées correspond à une augmentation, s'élevant jusqu'à 35 % de l'efficacité de l'utilisa-

tion de la quantité d'eau potable remise dans le système. Cela est d'un ordre de grandeur très important.

Considérant la quantité d'eau mise à la disposition pour l'irrigation, cette part est certainement largement plus faible. Si on utilise 50 % des eaux usées pour l'irrigation, on pourrait économiser au maximum 7,5 % de l'eau d'irrigation, en supposant (comme c'est le cas en Tunisie) que 80 % des ressources d'eau produite sont utilisées dans l'ensemble pour l'irrigation. Cependant cette part est considérée quand même comme une contribution importante à l'économie de l'eau et est donc clairement dans l'intérêt de l'ensemble de la société dans les pays en pénurie d'eau.

La considération de la productivité de l'eau ou l'efficacité par unité de volume d'eau d'irrigation, est également une possibilité pour comprendre l'importance de l'utilisation des EUT. Comme le tableau 6 l'indique, la valeur ajoutée d'eau est évidemment élevée si on utilise des eaux usées. Pour les différents types de cultures, cette augmentation en fonction de la valeur du marché, est très différente et s'élève entre 1 (raisins de table) et 58 % (petits pois).<sup>48</sup>

On peut tirer deux conclusions de ce tableau :

- La valeur ajoutée par unité de volume d'eau diffère beaucoup entre les différents types de cultures et varie, en fonction des groupes, entre 0,2–0,31 DT/m<sup>3</sup> pour des plantes fourragères ou le blé, et 0,99–1,51 DT/m<sup>3</sup> pour les

47 Une comparaison avec l'efficacité des autres options d'utilisation (exploitation forestière, terrains de golf, espaces verts municipaux) serait aussi rationnelle, si ces options existent réellement dans le lieu. Cf. par exemple GTZ (2001).

48 Les profits, par rapport à la valeur ajoutée, par l'utilisation des EUT varient très fort selon le type de cultures. Ils s'élèvent à 46 % pour les cultures céréalières et fourragères et autour de 15 % pour les cultures de grandes valeurs tels les légumes, les arbres et les cultures permanentes. Les profits sont particulièrement hauts pour les types de cultures « moins précieuses » qui ont besoin relativement de beaucoup d'eau (plantes fourragères) ; les types de cultures précieuses engendrent les profits les plus bas parce que, dans leur structure de coûts, ce n'est pas l'eau mais le travail et d'autres inputs qui sont les facteurs de coûts les plus importants (raisins de table, poires, oignons, carottes).

<b>Tableau 6 : Valeur ajoutée / m<sup>3</sup> d'eau ou eaux usées selon les différentes cultures</b>							
			<b>Procédé a : eau conventionnelle</b>		<b>Procédé c : Eaux usées</b>		
<b>Type de culture</b> (toutes avec irrigation)	<b>Besoin en eau</b> (en m <sup>3</sup> par ha)	<b>Valeur de marché obtenue</b>	<b>Frais pour les inputs</b> (sans le travail)	<b>Valeur ajoutée</b> (en DT/m <sup>3</sup> d'eau) Procédé a	<b>Frais pour les inputs</b> (sans le travail)	<b>Valeur ajoutée</b> (en DT/m <sup>3</sup> Procédé c)	<b>Augmentation de la valeur ajoutée entre les procédés a et c</b>
<b>Céréales</b>							
Blé dur	2000	1061,5	387,6	0,34	190,6	0,53	56
Blé tendre	2000	939,0	374,6	0,28	188,6	0,38	36
<i>Moyenne Blé</i>	<b>2000</b>			<b>0,31</b>		<b>0,46</b>	<b>46 %</b>
<b>Cultures arboricoles<sup>c</sup></b>							
Olives (Table)	1500	2500	432,5	1,38	194	1,67	21
Poires	3500	13500	1353	3,47	973	3,58	3
Pomme	3500	7800	1229	1,88	838	2,23	19
Pêche	2500	7150	705	2,58	292	2,74	6
Raisins de table	3000	9000	1223	2,59	1142	2,62	1
<i>Moyenne cultures arboricoles (sans olives à huile).</i>	<b>2800</b>			<b>1,51</b>		<b>2,21</b>	<b>14,3 %</b>
Olives (huile)	2000	740	383,5	0,18	176	0,28	55
<b>Plantes fourragères</b>							
Luzerne	7000	1980	876	0,15	359	0,23	53
Petits pois	3000	847	485	0,12	273	0,19	58
Mais fourrager	3500	1560	805	0,22	502	0,30	36
Sorgho fourrager	4000	2000	722	0,32	384	0,40	25
Orges fourragères	3000	1000	438	0,19	105	0,30	57
<i>Moyenne plantes fourragères</i>	<b>4100</b>			<b>0,20</b>		<b>0,28</b>	<b>40 %</b>
<b>Cultures maraîchères</b>							
Tomates	5500	6250	1531,5	0,86	1053	0,94	9
Pommes de terre	6000	7500	3831	0,61	3309	0,70	15
Melon	5500	6875	1131,4	1,04	690	1,25	20
Poivrons	6000	4200	1644	0,43	2115	0,54	26
Oignons	4500	10500	1318	2,00	955	2,12	6
Carottes	3000	4125	777,5	1,12	532	1,20	7
Artichauts	7000	6100	1967	0,59	1360	0,81	37
Fenouil	4000	3900	860	0,76	521	0,84	11
<i>Moyenne cultures maraîchères</i>	<b>4512,5</b>			<b>0,99</b>		<b>1,05</b>	<b>16 %</b>

Source : Propre calcul sur la base des données de Blanken / Schüttrumpf (1997)

cultures maraîchères ou arboricoles (sans les olives à huile). Ainsi, l'utilisation de l'eau pour les cultures de marché est plus productive pour les facteurs 3 à 7 que pour les cultures de subsistance.

- Par l'utilisation des eaux usées, on augmente la valeur ajoutée ou la productivité de l'eau pour tous les groupes cultures de cultures de 14 à 46 %. Pour les plantes fourragères et les céréales en particulier, mais aussi pour les oliviers, l'augmentation de la valeur ajoutée par unité d'eau est très évidente.
- En tout, cette comparaison ne doit pas masquer le fait que des cultures maraîchères et des plantes fourragères consomment, avec une exigence d'eau de plus de 4000 m<sup>3</sup>/ha, à peu près le double de l'eau que les cultures de céréales et les plantations d'arbres.

Dans la perspective de l'ensemble de la société, il s'agit moins d'apprécier positivement le type de culture, qui atteint la valeur ajoutée par cm<sup>3</sup> en eau, mais d'évaluer

- si l'offre de l'eau suffit, sous l'aspect de la durabilité du site, à couvrir les exigences en eau par rapport aux types de cultures les plus consommateurs,
- s'il existe des options alternatives d'utiliser l'eau avec une productivité plus élevée en dehors de l'agriculture,
- si c'est l'ensemble de la société ou bien l'agriculture comme secteur, qui profite des ressources d'eau économisées grâce à l'utilisation des eaux usées.

En Jordanie où il y a une forte concurrence entre les différents secteurs d'eau, on retire l'eau économisée du secteur agricole pour l'offrir au secteur de l'eau potable. D'un tel transfert, profiterait directement la population urbaine.

En Tunisie cependant, la pénurie d'eau apparaîtra probablement dans l'avenir d'abord comme un manque dans l'environnement. Dans ce pays il n'existe pas une situation de concurrence entre les secteurs de l'eau, en comparaison avec la Jordanie, parce que les systèmes d'approvisionnement

ont été assez optimisés de sorte qu'une crise d'approvisionnement n'est pas encore apparue et il n'existe pas de crainte d'en avoir. Au lieu de cela, on retire de plus en plus d'eau des cours d'eau ainsi que des stockages des nappes phréatiques, sans que cela puisse être actuellement aperçu par la population, parce que les niveaux de la nappe phréatique baissent de manière invisible.<sup>49</sup>

Pour atteindre une gestion durable de l'eau, le secteur environnemental devrait normalement profiter de ces ressources d'eau économisées. Cet intérêt pour l'environnement peut être seulement défendu institutionnellement à travers une administration ou un lobby d'environnement. Mais un développement dans ce sens n'est pas probable parce que le Ministère de l'Environnement n'est plus autonome en Tunisie depuis 2002 ; il est rattaché sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture.

Il est plus probable que l'eau économisée reste dans le secteur agricole et y serve à l'extension de nouvelles surfaces irriguées ou à l'intensification de surfaces cultivées : culture de types de plantes nécessitant beaucoup d'eau. Un tel développement n'est pas durable et donc douteux pour l'ensemble de la société.

Le problème montre qu'il est nécessaire de formuler, à côté de l'objectif de la plus grande efficacité par unité de volume d'eau, un deuxième objectif. Celui-ci devrait limiter la quantité totale ou la part d'eau conventionnelle que la société offre pour l'utilisation agricole. Si cette part est limitée, la pénurie en eau se fait plus sentir par le secteur agricole et l'ensemble de la société ; c'est pour cette raison que l'utilisation des EUT devient plus intéressante.

Une autre dimension concernant l'ensemble de la société par rapport à l'utilisation des EUT, se réfère à l'acceptation des produits alimentaires qui ont été irrigués avec des eaux usées de la part des consommateurs. Comme l'expérience le montre, le comportement des consommateurs dépend

---

49 Benabdallah, 1<sup>ère</sup> Partie.

grandement d'une perception subjective et des craintes. Ce n'est qu'en deuxième position que les connaissances des consommateurs sur les risques réels jouent un rôle.

Des recherches empiriques montrent que l'acceptation d'acheter des produits qui ont été irrigués avec des eaux usées augmente avec la distance géographique entre le consommateur et le producteur. Cependant, l'acceptation des produits est élevée sur les marchés locaux, même si le consommateur est informé sur le mode de production, et nettement plus basse sur les marchés urbains. C'est pourquoi, le consommateur éprouve une plus grande distance personnelle envers l'agriculture et donc ses craintes par rapport aux modes de productions nocifs sont plus élevées. En conséquence, la volonté de paiement sur les marchés urbains pour des produits irrigués avec des eaux usées est plus faible.<sup>50</sup> Les craintes sont encore plus grandes, si les produits sont importés d'autres pays comme l'indique la faible acceptation envers des produits jordaniens en Arabie Saoudite et dans les pays du Golf.

En général, le thème de l'acceptation n'a eu jusqu'ici qu'une petite importance pour le consommateur en Tunisie. Selon les agriculteurs tunisiens, ils n'ont pas de problèmes de commercialisation même si les consommateurs sont informés sur le mode de production.<sup>51</sup> En revanche en Jordanie, les agriculteurs et les sociétés de commercialisation ont de grandes craintes de ne pas pouvoir commercialiser leurs produits sur un niveau international si ceux-ci ont été irrigués avec des eaux usées.<sup>52</sup> Selon les relations de cause à effet mentionnées ci-dessus, la raison de la différence de perception se trouve dans le fait qu'en Tunisie, la production maraîchère sert exclusivement pour le marché intérieur alors qu'en Jordanie, les cultures maraîchères sont produites pour l'exportation. Une autre raison réside certainement dans la confiance de la population par rap-

port au bon fonctionnement des systèmes d'épuration des eaux usées. Pendant qu'en Jordanie l'épuration des eaux usées et le contrôle de qualité montrent beaucoup de lacunes, la Tunisie peut présenter de meilleurs résultats dans ce domaine et cela est reconnu par des consommateurs. En dehors d'une perception de risques subjectifs ne coïncidant pas nécessairement avec des risques réels, les préférences d'achat présentées ont en effet un arrière-fond rationnel. La population urbaine est en effet plus en danger que la population rurale parce que les germes pathologiques ne peuvent causer des maladies qu'en rencontrant un porteur sensible qui, de sa part, ne peut former une immunité que si seulement il est en contact permanent avec les germes pathologiques. Dans un nouvel entourage, les touristes sont également beaucoup plus sensibles à ces germes pathologiques que la population locale. Le critère « proximité géographique » correspond donc tout à fait au degré du danger réel.

### 3.4 Aperçu sur la perspective environnementale

Dans le paragraphe précédent, on a spécifié les effets environnementaux quantitatifs indirects qui peuvent être positifs ou négatifs en fonction de la manière dont on se sert des quantités d'eau économisées ; en dehors de ces effets quantitatifs, l'utilisation des EUT a également des effets qualitatifs environnementaux qui sont positifs pour l'environnement parce qu'ils soulagent les cours d'eau. Plus le degré d'épuration des eaux usées est élevé dès avant le déversement dans des cours d'eau, plus les aspects quantitatifs sont importants et les avantages qualitatifs bas.

On peut citer les avantages suivants de l'utilisation des EUT pour l'environnement et les cours d'eau :

- Soulagement des cours d'eau par la réduction du déversement des eaux ; ainsi, prévention contre la salinité excessive et l'eutrophisation des cours d'eau (éviter la surcharge avec des substances nutritives et la charge organique).

50 Cf. Majdalawi (2001).

51 Cf. Benabdallah (2002) ; Bahri (2002) ; Schüttrumpf / Mauderli (2002), p. 41.

52 Cf. BMZ (2001b).

- L'utilisation des EUT peut contribuer indirectement à faire économiser de l'énergie et à éviter la pollution industrielle lors de la production des engrais (pour autant qu'on utilise les valeurs de fertilisation des eaux usées).
- Les éléments contenus dans les eaux usées peuvent conserver le sol et en améliorer sa structure. Par là, on atteint une certaine protection contre l'érosion (pour autant que les agriculteurs mettent bien en pratique l'utilisation des EUT).

A ces avantages écologiques, s'opposent les risques suivants de l'utilisation des EUT:

- Il y a un risque de salinité excessive des sols agricoles, si on réutilise globalement les eaux usées sans respecter la tolérance au sel du sol. A quel point ce risque est élevé en détail, dépend de l'aménagement de l'agriculteur.
- En cas de substances nutritives trop élevées et de fertilisation minérale supplémentaire, le risque d'un excès de fertilisation du sol et d'une lixiviation du nitrate excédentaire dans la nappe phréatique se pose. Le niveau de ces risques dépend de l'aménagement de l'agriculteur.
- Il y a, dans certains cas, un risque résiduel d'accumulation de substances toxiques non dégradables dans le sol (métaux lourds, dioxine, etc.). Le risque existe, le cas échéant, si ces substances arrivent dans les eaux usées (ainsi elles ne sont pas éliminées avant), et si en même temps un monitoring insuffisant de la part des évacuateurs ne découvre pas un dépassement des valeurs limites ou n'y réagit pas.
- Des substances toxiques peuvent, à travers les produits irrigués avec des eaux usées, entrer dans la chaîne alimentaire. Cependant, le risque est extrêmement petit lors d'un usage des eaux usées domestiques.

En résumé, on peut constater que les risques environnementaux qui ont existé lors de l'évacuation conventionnelle pour les cours d'eaux récepteurs, passent avec l'utilisation des EUT sur les sols agricoles. Le sol sert beaucoup mieux de cuvette

d'eaux usées que les cours d'eau, parce qu'il possède une bien plus grande capacité d'adsorption et de décomposition des substances problématiques. A cet égard, le bilan qualitatif de l'utilisation des EUT doit être vu en tout cas positivement.

Le résultat du bilan quantitatif dépend des décisions politiques de l'eau au niveau des instances supérieures. Si aucune décision explicite n'est prise en ce sens, le bilan est probablement négatif parce que la quantité d'eau économisée restera dans les secteurs agricoles, c'est-à-dire qu'elle n'est plus « remboursée » aux cours d'eau. Certes, les conduits d'eau souterraine profitent à la place des cours d'eau, d'une partie des eaux usées utilisées. Mais, ces ressources sont difficiles à extraire et par l'utilisation des EUT, on perd plus de grandes quantités par la vaporisation que dans le déversement dans un cours d'eau.

## 4 Synthèse des perspectives

### 4.1 L'adaptation de la technique d'épuration aux critères pour la réutilisation

Comme le montre l'analyse des acteurs, comparativement à l'évacuation conventionnelle, l'utilisation des eaux usées présente plus d'avantages que d'inconvénients pour la plupart des acteurs. Pour l'ensemble de la société, le procédé offre clairement plus d'avantages parce que par l'utilisation multiple de l'eau, on peut – avec un taux d'utilisation de 50 % – économiser jusqu'à 7,5 % de la quantité totale d'eau conventionnelle disponible. Pour un pays en pénurie d'eau comme la Tunisie, il est donc raisonnable de viser une grande part possible de l'utilisation des EUT dans l'agriculture.

Pour exploiter rentablement une entreprise agricole, les agriculteurs ne doivent non seulement optimiser la production de chaque type de cultures particulières mais aussi la combinaison de différents types de cultures, le plan de culture. Même si l'utilisation des EUT est rentable pour des

cultures particulières, les agriculteurs doivent, à cause des restrictions de production, dévier le plan de culture économiquement optimal. Ici, le bénéfice perdu dépasse largement les gains obtenus de la production de cultures particulières.

En outre, les agriculteurs prennent aussi avec l'utilisation EUT les risques résiduels écologiques et économiques qui devraient, dans le cas du déversement dans un cours d'eau, être assumés par l'ensemble de la société. Dans les conditions données, les agriculteurs rendent donc un service à la société s'ils utilisent des eaux usées. Ainsi, il est absolument logique qu'ils préfèrent généralement l'eau conventionnelle malgré les prix incitatifs pour l'utilisation des EUT.

Pour atteindre cependant l'objectif national concernant l'extension de l'utilisation des EUT, on doit donc créer des stimulations supplémentaires qui devraient permettre aux agriculteurs d'utiliser les EUT de façon rentable pour l'ensemble de leur exploitation.

Cela est possible si on adapte la technique d'épuration à l'utilisation agricole des eaux usées de sorte à pouvoir abroger les restrictions de culture. En conséquence, il semble logique d'insérer aux systèmes existants des traitements complémentaires pour atteindre une désinfection suffisante des eaux usées.

Sous les conditions suivantes, on devrait investir ces coûts :

1. Les restrictions juridiques de culture sont ensuite réellement abrogées pour l'irrigation avec des eaux usées désinfectées.
2. La qualité des eaux usées traitées sert aussi, par rapport aux autres critères de qualité, à une utilisation sans restrictions (particulièrement la salinité).
3. Le site est en général bien adapté pour la production des cultures maraîchères et la vente de légumes.

On peut supposer que l'utilisation des EUT est acceptée sans réticences par les agriculteurs si les eaux usées sont désinfectées et les restrictions juridiques de cultures abrogées. Mais étant donné que toutes les eaux usées ainsi que les sites ne sont pas appropriés pour les cultures maraîchères, une décision globale pour l'installation d'un traitement complémentaire n'est pas indiquée. Au lieu de cela, les décisions devraient être prises cas par cas.

## 4.2 Réalisation de projets

Dans les pages suivantes, des diagrammes indiquent quels sont les mesures nécessaires pour prendre des décisions par rapport à la meilleure utilisation et au degré d'épuration souhaitable des eaux usées.

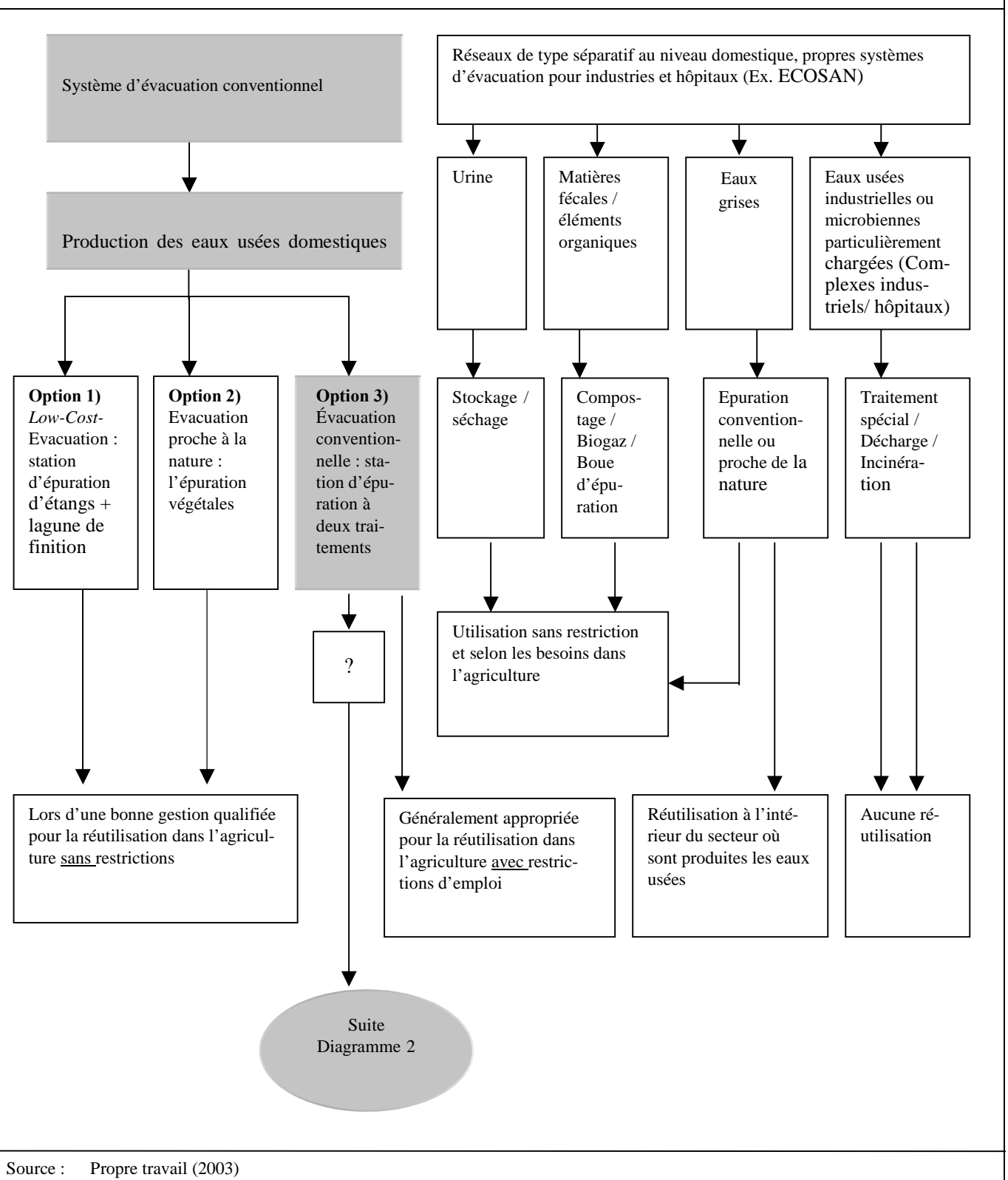
Il ressort de ces diagrammes :

- Diagramme (1) indique les décisions préliminaires qui ont déjà été implicitement prises avec l'installation d'un système d'évacuation conventionnelle (Parties marquées en gris). Le passage de ce diagramme est significatif pour des sites sur lesquels on doit réaliser de nouveaux concepts d'évacuation.
- Diagramme (2) indique les pas de décision qui doivent être pris pour évaluer l'aptitude des eaux usées ou des sites pour l'utilisation des EUT dans l'agriculture.
- Diagramme (3) indique enfin les pas et les conditions nécessaires pour prendre une décision approfondie par rapport à l'installation d'un traitement complémentaire.

## 4.3 Attribution des coûts lors d'une épuration des eaux usées selon les besoins

Tant que les objectifs d'épuration pour des eaux usées ne sont pas adaptés aux besoins des exploitations agricoles, et donc leur utilisation par rapport à l'ensemble de l'exploitation n'est pas rentable, il est toujours logique que les coûts d'éva

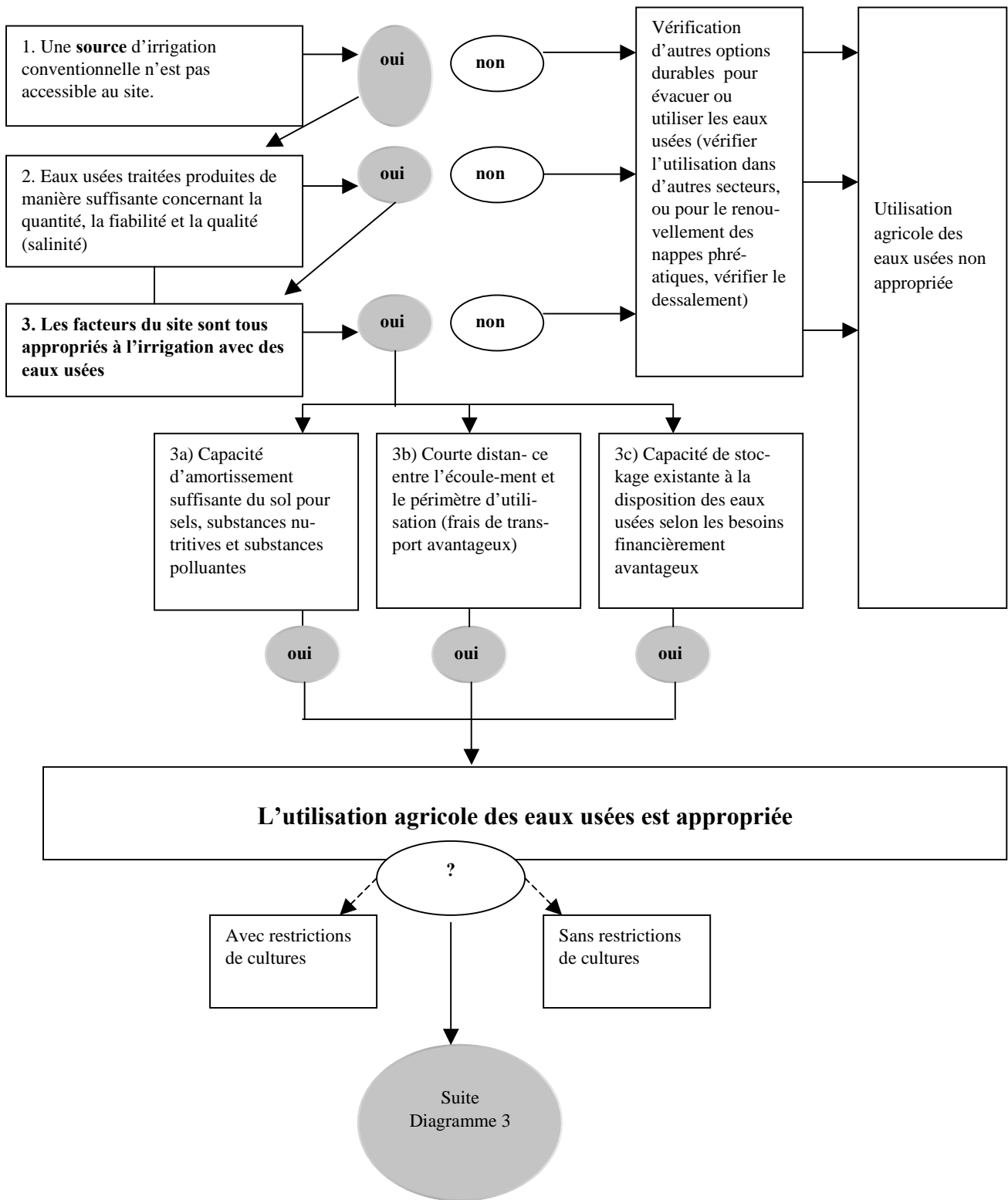
Diagramme 1 : Système d'évacuation et options de traitement des eaux usées



Source : Propre travail (2003)

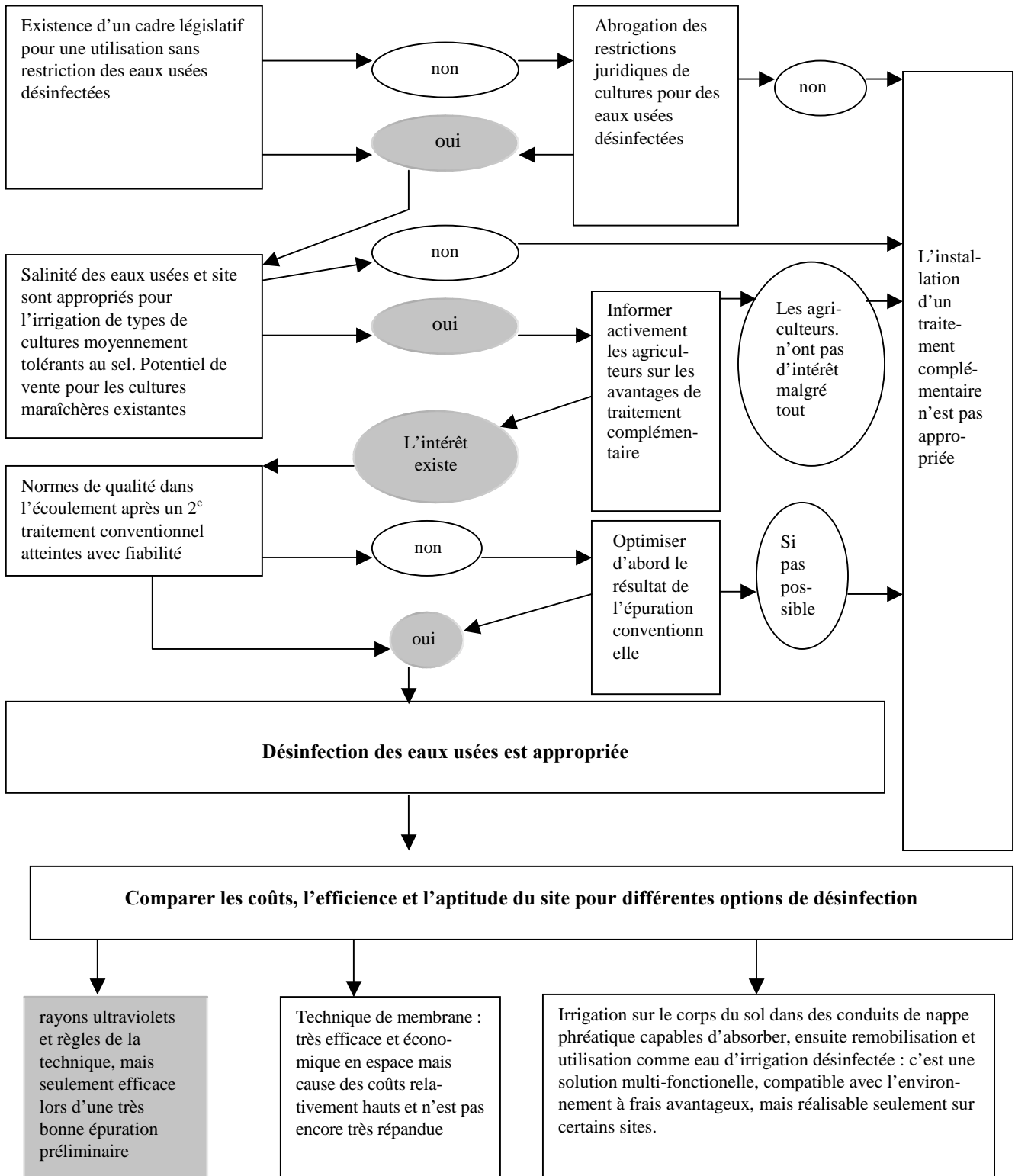


**Diagramme 2 : Aptitude des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole**



Source : Propre travail (2003)

**Diagramme 3: Degré d'épuration et installation d'un traitement complémentaire**



Source : Propre travail (2003)

cuation – selon le principe du pollueur payant – soient assignés au secteur ménager, même si les eaux usées épurées sont utilisées dans l'agriculture.

Mais s'il s'avère, selon les diagrammes de décision, raisonnable d'équiper une station d'épuration d'un traitement complémentaire, et si on assouplit pour cette raison les restrictions juridiques d'utilisation pour des eaux usées désinfectées, il se présente une situation différente. En fonction de la manière dont changent les systèmes d'exploitation, les agriculteurs pourraient en tirer si clairement profit si clairement, qu'une participation aux coûts par les agriculteurs serait justifiée.

Comme on a déjà calculé pour la Tunisie, les coûts d'investissement aussi bien que les coûts d'exploitation d'un traitement complémentaire s'élèvent à environ 10 % des coûts de construction et d'exploitation d'une station d'épuration conventionnelle à deux traitements.<sup>53</sup> Ces dépenses peuvent être complètement attribuées au procédé de l'utilisation des EUT (frais spéciaux) parce qu'ils ne servent qu'à cet objectif.

La quantité à laquelle s'élèvent d'autres frais spéciaux supplémentaires, varie selon le site. Les principaux facteurs de coûts sont : les frais du transport probablement prolongé de l'écoulement à la station d'irrigation et les frais pour la création d'un volume de stockage dont on a besoin en plus pour égaliser les variations quantitatives. Si la station d'irrigation est située très proche du site de la station d'épuration et si des capacités de stockage préexistent ou peuvent se construire facilement (en surface ou en souterrain), on peut maintenir bas les frais totaux.

La quote-part des frais spéciaux qui peut être attribuée aux exploitations agricoles dépend des paramètres suivants :

- Nombre des exploitations qui peuvent être fournies avec les eaux usées purifiées, c'est-

à-dire celles sur lesquelles on peut répartir les frais.

- Portion des surfaces cultivées avec des cultures maraîchères, hauteur des coûts d'opportunité économisés pour l'exploitation agricole.
- Evaluation du potentiel de vente locale pour les cultures maraîchères et l'évolution des prix.

Des recommandations concrètes en chiffres, ne peuvent être calculées que cas par cas. A propos du changement des plans de culture dans les exploitations agricoles en raison des différentes qualités des eaux d'irrigation, il n'y a pas d'étude jusqu'à ce jour pour la Tunisie.

Il est important de veiller, lors de la fixation des frais de participation, à ce qu'il soit maintenu un bénéfice net de l'utilisation des EUT pour les agriculteurs.

#### 4.4 Conclusions et recommandations

Pour des pays arides en développement, la réutilisation de l'eau est une technique d'avenir qui devrait être appuyée par la coopération allemande au développement (FZ et TZ).

Le gouvernement tunisien a, avec l'appui de la coopération allemande, installé un système d'approvisionnement et d'évacuation de l'eau qui est impressionnant et en état de marche. Ce système vaut la peine d'être encore optimisée grâce à l'appui de l'Allemagne.

Pour que les eaux usées épurées soient réutilisées à un grand pourcentage dans l'agriculture, on a besoin d'adaptions techniques par rapport aux stations d'épuration pour répondre aux besoins des utilisateurs des eaux usées. Sous la condition d'abroger les restrictions juridiques de culture juridiques pour des eaux usées désinfectées (traitement complémentaire), on peut compter sur une acceptation de grande envergure de la part des agriculteurs.

53 Schüttrumpf / Mauderli (2002).

On recommande que la KfW et la GTZ appuient, financièrement et par des conseils, leurs partenaires tunisiens dans l'adaptation technique de leurs systèmes. Selon la procédure, avec l'aide de diagrammes de décision développés dans cette étude, les institutions devraient décider suivant le cas de leur assistance ; une décision globale ne serait pas adéquate.

Dans le cas particulier et justement dans la planification des sites touristiques, il serait raisonnable de considérer, plus qu'à ce jour, des stratégies d'évacuation proches à la nature et de financer probablement de tels projets. Si on exploite des lagunes d'eaux usées de manière professionnelle, les qualités des eaux usées qui en résultent sont dès le départ mieux qualifiées pour une utilisation dans l'agriculture. En outre, des lagunes d'eaux usées sont avantageuses si les prix de la terre ne sont pas trop élevés. On pourrait également penser à l'installation de systèmes de séparation (compar. ECOSAN) qui diminuent les quantités d'eaux usées produites et permettent d'utiliser les substances nutritives beaucoup plus selon les besoins dans l'agriculture.

Le projet de la Tunisie en vue de mettre la désinfection en application à l'aide de l'irradiation aux rayons ultraviolets, ne peut pas être tout à fait saisi dans cette étude faute d'informations détaillées. On propose d'examiner encore si la technique de membranes n'a pas des avantages plus grands qui pourraient justifier les coûts un peu plus élevés. Si on choisit néanmoins le traitement aux rayons ultraviolets, on doit considérer que le degré d'efficacité souhaité n'est pas toujours atteint.

Dans le domaine de l'utilisation des EUT, la coopération allemande au développement devrait s'adresser de façon ciblée aux utilisateurs des eaux usées parce que les agriculteurs ont besoin d'urgence de consultation pour l'utilisation optimale des eaux usées, mais aussi pour éliminer les risques résiduels écologiques. On devrait mettre au centre d'une consultation, la pratique avec des hautes teneurs en sel mais également considérer la valeur de substitution des eaux usées pour les engrais.

L'établissement de *guidelines* pour « la bonne pratique de l'utilisation des eaux usées » semble logique. Ces *guidelines* devraient se baser d'une part, sur le savoir-faire international et d'autre part, sur les expériences locales de pratique avec des eaux de qualité marginale. Les projets déjà existants en Jordanie pourraient servir d'exemple (*Brackish Water Project, BWP, Reclaimed Water Project, RWP, GTZ-Jordanie*).

Un autre objectif important est d'atteindre de la fiabilité par rapport à l'offre des eaux usées parce que cela influence de manière déterminante le risque de production des agriculteurs et ainsi aussi l'acceptation de l'utilisation des EUT. Cela est valable en grande mesure si on cultive avec des eaux usées des types de cultures précieuses et moins résistantes à la sécheresse.

Le concept examiné dans cette étude se réfère à un nouveau pays (industrialisé) qui dispose d'un système d'évacuation et d'approvisionnement de l'eau déjà développé et onéreux. En conséquence, l'exemple tunisien peut servir de modèle seulement pour d'autres pays disposant d'un équipement semblable par rapport à l'infrastructure d'évacuation. Pour des pays en voie de développement plus pauvres, où il n'existe guère de stations d'épuration, on devrait discuter sur d'autres formes d'évacuation et d'utilisation des eaux usées.

En général, il faut recommander que la coopération allemande élabore une propre position par rapport à la promotion de l'utilisation des EUT dans des pays en voie de développement. Comme point de départ, celle-ci devrait rapprocher les systèmes d'évacuation existants dans les pays et établir au niveau du concept une distinction entre les pays en voie de développement qui sont plus pauvres et ceux qui sont déjà plus avancés.

## Bibliographie

- Achtnich, W.** (1980) : Bewässerungslandbau, Eugen Ulmer (Verlag), Stuttgart
- Bahri, A.** (2002) : Water Reclamation and Reuse in Tunisia, Manuscrit, National Institute for Research on Agricultural Engineering, Water, and Forestry, Tunis
- Benabdallah, S.** (2002) : Communication orale, Tunis
- Benabdallah, S.** (2002) : La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie – point de départ, conditions-cadres et stratégie politique d'eau, Partie I, CITET / IAD, Tunis, Bonn
- Benabdallah, S. / R.-B. Ammar** (2001) : Projet: Maîtrise de la qualité des eaux de la Medjerda. Manuscrit. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / Centre International des Technologies de l'Environnement de Tunis
- Blanken, J. / R. Schüttrumpf** (1997) : Projet de Modernisation des Périmètres Publics Irrigués dans la Basse Vallée de la Medjerda. Mission pour la rédaction de dossiers supplémentaires d'évaluation de projet. Rapport Provisoire pour le Ministère de l'Agriculture, République Tunisienne
- Blumenthal, U. J. / A. Peasey** (2000) : G. Ruiz-Palacios, G., Mara, D. D., Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture : recommended revisions based on new research evidence, WELL Study, London
- BMZ** (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) (2001a) : Länderbericht Tunesien, Bonn
- (2001b) : Länderprogrammevaluation Jordanien, Bonn
- BWP/GTZ** (Brackish Water Project / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) (2003) : Guidelines for Use of Brackish Water in Irrigation, Amman
- (2001) : Review of Experiences of Other Countries in Agricultural Irrigation with Marginal Water, Amman
- Coopération Allemande au Développement / Ministère de l'Agriculture / Coopération Technique Tuniso-Allemande** (2001) : Plan guide relatif à la mise en œuvre de gestion en temps réel des ressources en Tunisie, Tunis
- GTZ** (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) (2001) : Rentabilité de l'utilisation des Eaux usées traitées (EUT) dans les secteurs autres que l'agriculture
- (sans année) : Treatment and Reuse of Sewage and Sludge in Tunisia, Tunis
- Doppler, W. et al.** (2002) : The Impact of Water Price Strategies on the Allocation of Irrigation Water : The Case of the Jordan Valley, dans : *Agricultural Water Management*, Vol. 55, p. 171–182
- Dorau, W.** (2001) : Abwasserhygienisierung und Leistungssteigerung der biologischen Abwasserreinigung mittels Bio-Membran-Technik. Methodische Grundsatzüberlegungen zur Bio-Membran-Technik, Manuscrit, Umweltbundesamt, Berlin
- (1999) : Fragen zur Abwasserhygiene – Lösungsmöglichkeiten mit der Bio-Membran-Technik, dans : *Wasser & Boden*, Vol. 51, No. 10, p. 7–10
- FAO** (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1994) : Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper, 29, No. 2, Rome
- (1992) : Wastewater Treatment and Use in Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper, 47, Rome
- Fersi, S. / K. Wunderlich** (2002) : Die deutsch-tunesische Zusammenarbeit in der Wasserwirtschaft, dans : *Partenaire & Développement*, No. 1, p. 26–30
- Günder, B. / Kh. Krauth / K.-H. Rosenwinkel** (1999) : Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserreinigung, dans : *Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft*, Vol. 153, München
- Horn, R. et al.** (1980) : The Ecological Effects of Long-term Waste Water Irrigation. Communication au "Second European Ecological Symposium" à Berlin, 8.–12. September 1980, Boston, Edinburgh, p. 217–229
- KfW** (Kreditanstalt für Wiederaufbau) (2001) : Finanzielle Zusammenarbeit mit Tunesien, Frankfurt
- Madjalawi, M.** (2001) : Consumer's View on Agricultural Products Produced with Low Quality Water : A Case from Jordan. Communication au "Fifth IFSA European Symposium": Farming and Rural Systems Research and Extension, 8.–11. April, Florenz
- MEAT / ONAS / KfW** (Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement / Office National de l'Assainissement / Kreditanstalt für Wiederaufbau) (2002) : Etude d'exécution pour l'assainissement des villes, Traitement tertiaire des eaux usées à la station d'épuration d'Aousja, avant projet détaillé, Consulting Engineers GmbH, Salzgitter, Tunis
- Ministère de l'Agriculture** (2002) : Stratégie de réutilisation des eaux usées traitées, Gammarth
- Neubert, S.** (2002) : Wastewater Reuse in Agriculture – A Challenge for Administration Coordination and Implementation, dans : Neubert S. / W. Scheumann / A. van Edig (Ed.), *Reforming Institutions for Sustainable Water Management*, IAD, Bonn
- OMS** (Organisation Mondiale de la Santé) (1989) : Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture and Aquaculture : Measures for Public Health Protection, [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/Water\\_quality/wastwat.htm](http://www.who.int/water_sanitation_health/Water_quality/wastwat.htm)
- ONAS** (Office National de l'Assainissement) (2002) : Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

- ONAS / KfW** (Office National de l'Assainissement / Kreditanstalt für Wiederaufbau) (2002): Etude d'exécution pour l'assainissement des villes de Mateur, Ras Jebel, Raf Raf et El Alia. Avant Projet Détaillé (AOD). Rapport Définitif, Tunis, Frankfurt
- Rais, M.-T. / D. Xanthoulis** (1999): Amélioration de la qualité microbiologique des effluents secondaires par stockage en bassins, dans: *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol. 3, No. 3, p. 149–157
- République Tunisienne: Ministère de l'Agriculture** (2000): Stratégie à long terme du secteur de l'eau, Tunis
- (1999): Etude du secteur de l'eau: Orientations stratégiques
- Rowe, D. R. / I. M. Abdel-Magid** (1995): Wastewater Reclamation and Reuse, London, New York
- Schüttrumpf, R.** (1999): Wiederverwendung von Abwässern in islamischen Ländern: Beispiele und kulturelle Akzeptanz. Gutachten für die GTZ (1999), thèmes des concepts écologiques de l'évacuation des eaux usées, Eschborn / Seesen
- Schüttrumpf, R. / A. Mauderli** (2002): Stations d'épuration de Kairouan, Aousja et Sousse – Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, Rapport d'expertise. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / Office National de l'Assainissement (ONAS), Tunis
- Wolff, H.-P. / W. Doppler** (2002): Potentials and Limits of Incorporating Low-quality Water Resources in Concepts for the Intersectoral and Cross-border Water Allocation in the Near East – First Results from a Joint Research Programme. The 12<sup>th</sup> Stockholm Water Symposium, 12–15 August 2002, Stuttgart
- World Bank / Swiss Agency for Development Cooperation** (2001): Proceedings of the Regional Workshop on Water Reuse in the Middle East and North Africa, proposition de résumé de rapport. Workshop on Water Reuse in Cairo, 2.–5. Juli 2001, Kairo, Washington

# **ANNEXE**





Degré de salinité de l'eau	Conductivité électrique ( $\mu\text{s/cm}$ )	DS/m	Correspondance approximative à la salinité totale (g/l)
Faible	0–250	0–0,25	Jusqu'à 0,2
Modéré	250–750	0,2–0,75	0,2–0,5
Fort	750–2250	0,75–2,25	0,5–1,5
Très fort	2250–5000	2,25–5,0	1,5–3,3

Tolérance relative au sel	Extrait d'eau du sol ECe (dS/m)	Salinité dans l'eau d'irrigation ECw (dS/m)
Sensible	< 1,4	< 0,9
Modérément sensible	1,4–3,0	0,9–2,0
Tolérance moyenne au sel	3,0–6,0	2,0–4,0
Haute tolérance au sel	6,0–10,0	4,0–6,7
Inappropriée pour la plupart des types de cultures (ou des pertes de rendements doivent être acceptées)	> 10	> 6,7

Source : FAO (1994), p. 21

<b>Tableau A 3 : Comparaison de la relation coûts: valeur lors de l'irrigation conventionnelle par rapport à l'utilisation des EUT</b>					
	<b>Procédé a) Eaux conventionnelles MB/ha (en DT/ha)</b>			<b>Procédé c) Eaux usées</b>	<b>Comparaison Coûts : Valeur Procédé a : Procédé c</b>
<b>Type de culture</b>		<b>MB bruts /FT- Jour</b>	<b>Coûts : Valeur</b>	<b>Coûts : Valeur</b>	<b>Moyenne de la valeur ajoutée</b>
<b>Céréales</b>					
Blé dur (irrigué)	339,3	38	0,68	0,49	
Blé tendre	231,0	26	0,75	0,49	
<i>Moyenne blé</i>	<i>285,2</i>	<i>32</i>	<i>0,71</i>	<i>0,49</i>	<i>0,22</i>
<b>Plantes fourragères</b>					
Lucerne	659,0	94	0,67	0,43	
Petits pois	151,0	22	0,82	0,50	
Maïs fourrager	291,0	7	0,81	0,55	
Sorgho fourrager	726,0	13	0,64	0,50	
Orge fourragère	205,0	4	0,79	0,54	
<i>Moyenne plantes fourragères</i>	<i>406,4</i>	<i>28</i>	<i>0,75</i>	<i>0,50</i>	<i>0,25</i>
<b>Cultures maraî- chères</b>					
Tomates	2797	19	0,55	0,48	
Pommes de terre	1907	16	0,75	0,67	
Melon	4384	40	0,36	0,30	
Poivrons	854	4	0,80	0,68	
Oignons	8175	160	0,22	0,27	
Carottes	2588	76	0,37	0,28	
Artichauts	2930	16	0,52	0,37	
Fenouil	1710	16	0,56	0,47	
<i>Moyenne cultures maraîchères</i>	<i>2994</i>	<i>44</i>	<i>0,52</i>	<i>0,44</i>	<i>0,08</i>

- a) On a supposé que les rendements pour les types de cultures ont le même niveau dans les procédés « eau conventionnelle » et « eaux usées ».

<b>Tableau A3 (suite) : Comparaison de la relation coûts : valeur lors de l'irrigation conventionnelle par rapport à l'utilisation des EUT</b>					
	<b>Procédé a) Eau conventionnelle</b>			<b>Procédé c) Eaux usées</b>	<b>Comparaison procédé conventionnel &lt; &gt; Procédé eaux usées</b>
<b>Type de culture</b>	<b>MB/ha (en DT)</b>	<b>MB bruts / FT-jour</b>	<b>Coûts : Valeur</b>	<b>Coûts : Valeur</b>	<b>Moyenne coûts : Plus value de l'eau</b>
<b>Cultures arboricoles</b>					
Olives (de table)	1272	17	0,49	0,40	
Poires	10410	65	0,23	0,20	
Pommes	5072	36	0,35	0,34	
Pêches	4927	37	0,31	0,26	
Raisins de table	5983	53	0,34	0,30	
<i>Moyenne cultures arboricoles (Sans olives d'huile)</i>	<i>5533</i>	<i>41,6</i>	<i>0,46</i>	<i>0,30</i>	<i>0,16</i>
Olives d'huile	-342	-5	1,46	1,16	

Source : Propre rédaction sur la base des données de Blanken / Schüttrumpf (1997)

<b>Liste des Interlocuteurs 2<sup>ème</sup> Partie</b>
<b>Politique d'eau et questions institutionnelles</b>
M. Mohamed Ennabli, Ministre de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / MEAT
M. Zahar Yadt, MEAT
M. Laroui Mustapha, MEAT
Bech Houcin Essaid, Chef de Département Central, ONAS
Expert à la Direction des études de L'Office National d'Assainissement / ONAS
Haykel Nejlaoui / Herr Lausmann, PSEMA-Projekt, GTZ / Ministère de l'Agriculture
Le DG Jebali, DGBGTH, Ministère de l'Agriculture
Le DG Hamdane, Mme Boutiti, DGGRHA, Ministère de l'Agriculture
Mongia Ouled Ali, SO.N.E.D.E
Naceur Zehri, Le PDG de SECADENORD
Mama Karim, SECADENORD
<b>Coopération Tuniso-Allemande au développement et coordination</b>
Dr. Armin Kössler, Ambassade Allemande, Tunis
Amel Benzarti, DG / CITET, Tunis
Dr. Salow, GTZ, Tunis
Dr. Annette Trux GTZ / OSS, Tunis
Klaus Wenzel, CITET / GTZ, Tunis
Min. R. Horst Posselt, BMZ / Maghreb méditerranéen, Bonn
Uwe Wolff, BMZ, Bonn
Georg Schüller, BMZ, Bonn
Hans Prestele, KfW, Frankfurt
Uwe Hansen, KfW, Frankfurt
<b>Liste des Interlocuteurs 2<sup>ème</sup> Partie</b>
Jochen Hechler, igip / KfW/ Ministère de l'Agriculture, Tunis
Dr. Matthias Schlund, KfW, Frankfurt
Piet Kleffmann, KfW, Frankfurt
Silke Stadtmann, KfW, Frankfurt

Yasmin Tawfik, KfW, Frankfurt
Anja Bentlage, KfW, Frankfurt
<b>Questions spéciales</b>
Dr.-Ing. Sihem Chairat Benabdallah, CITET
Dr.-Ing. Rolf Schüttrumpf, Ingenieur Conseil, Seesen
Akica Bahri, National Research Institute for Agriculture Engineering, Water and Forestry (INGREF)
Le DG Ben Rejeb, INRGREF
Mounir Majdoub, Projet Gestion l'Environnement, GTZ / CITET
Amel Jrad, Direction Laboratoire, CITET
Mohammed El Hedi Louati, Ministère de l'Agriculture
Le DG El Djemili Batti, DGRE, Ministère de l'Agriculture
Liste des Interlocuteurs 2 <sup>ème</sup> Partie (suite)
Khaldi Abdelhamid, Directeur de l'Institut National des recherches en Génie Rural, Eau et Forêts
Le DG Mallek, M. Lajili, PISEAU
Mejib Trabelbi, DG de la DGEQV / Projet PISEAU, Banque mondiale
Zahar Yadh, Conculat Eau Aménagement Environnement, Tunis
Herr Möller, Fa. Möller et Darmer (NgA in Deutschland / Berlin)
Prof. Dr. Martin Jekel, TU- Berlin
Wolfgang Dorau, Bettina Uhlmann, Umweltbundesamt (UBA), Berlin
<b>Liste des Interlocuteurs 2<sup>ème</sup> Partie</b>
Prof. Wolfgang Allaili, TU-Berlin
Christine Werner, ECOSAN, GTZ, Eschborn
Dr. Heinz-Peter Wolff, Uni Hohenheim
Thomas Ziegelmayer, GTZ, Amman



**Schriftenreihe des Deutschen Instituts für Entwicklungspolitik (DIE)  
im Weltforum Verlag**

- 111 Brücker, Herbert / W. Hillebrand: Privatisierung in Entwicklungs- und Transformationsländern. Konzepte, Erfahrungen und Anforderungen an die Entwicklungszusammenarbeit, 273 S., Köln 1996, ISBN 3-8039-0465-X
- 112 Eßer, Klaus et al.: Globaler Wettbewerb und nationaler Handlungsspielraum. Neue Anforderungen an Wirtschaft, Staat und Gesellschaft, 334 S., Köln 1996, ISBN 3-8039-0464-1
- 113 Wolff, Peter: Vietnam – Die unvollendete Transformation, 121 S., Köln 1997, ISBN 3-8039-0474-9
- 114 Hannig, Alfred: Finanzsystemreformen. Konzept, Erfahrungen und Perspektiven am Beispiel Boliviens, 193 S., Köln 1998, ISBN 3-8039-0480-3
- 115 Klingebiel, Stephan: Leistungsfähigkeit und Reform des Entwicklungsprogramms der Vereinten Nationen (UNDP), 379 S., Köln 1998, ISBN 3-8039-0483-8
- 116 Neubert, Susanne: Die soziale Wirkungsanalyse in armutsorientierten Projekten. Ein Beitrag zur Methodendiskussion in der Evaluationspraxis der Entwicklungszusammenarbeit, 139 S., Köln 1999, ISBN 3-8039-0487-0
- 117 Scholz, Imme: Nutzung natürlicher Ressourcen zwischen Raubbau und Nachhaltigkeit: Sozioökonomische Bedingungen und unternehmerische Handlungsmuster, 446 S., Bonn 1999, ISBN 3-8039-0492-7
- 118 Ashoff, Guido: Der Entwicklungshilfeausschuss der OECD und die deutsche Entwicklungszusammenarbeit: ein Verhältnis auf dem Prüfstand, 182 S., Bonn 2000, ISBN 3-8039-0497-8

[zu beziehen beim Weltforum Verlag, Hohenzollernplatz 3, 53173 Bonn, Telefon: +49 (0)228 3682430, Telefax: +49 (0)228 3682439, E-Mail: nc-v.frejo@netcologne.de, oder über den Buchhandel]

**Berichte und Gutachten des Deutschen Instituts für Entwicklungspolitik (9,63 Euro)**

- 11/01 Ashoff, Guido et al.: L'implication des entreprises dans la formation professionnelle au Maroc. Un élément stratégique de la mise à niveau de l'économie marocaine, 146 S., Bonn 2001, **F**: ISBN 3-88985-237-8
- 12/01 Loewe, Markus et al.: Improving the Social Protection of the Urban Poor and Near-Poor in Jordan., 177 S., Bonn 2001, **E**: ISBN 3-88985-238-6
- 1/02 Altenburg, Tilman et al.: E-Business und KMU, 85 S., Bonn 2002, **D**: ISBN 3-88985-239-4
- 2/02 Stamm, Andreas et al.: Arbeits- und Lebensbedingungen in der großbetrieblichen Kaffeeproduktion von Mittelamerika. Ansatzpunkte zur Sicherung sozialer Mindeststandards unter Einbeziehung der Privatwirtschaft, 54 S., Bonn 2002, **D**: ISBN 3-88985-240-8
- 3/02 Haldenwang, Christian von: Electronic Government und Entwicklung. Ansätze zur Modernisierung der öffentlichen Politik und Verwaltung, 75 S., Bonn 2002, **D**: ISBN 3-88985-241-6
- 4/02 Stamm, Andreas et al.: Working and Living Conditions in Large-scale Coffee Production in Central America: Approaches to Securing Minimum Social Standards, Including Cooperation with the Private Sector, 52 S., Bonn 2002, **D**: ISBN 3-88985-242-4

- 5/02 Liebig, Klaus et al.: Governing Biodiversity. Access to Genetic Resources and Approaches to Obtaining Benefits from their Use: the Case of the Philippines, 87 S., Bonn 2002, **E**: ISBN 3-88985-243-2
- 6/02 Neubert, Susanne / Waltina Scheuermann / Annette van Edig (Hrsg.): Reforming Institutions for Sustainable Water Management, 139 S., Bonn 2002, **E**: ISBN 3-88985-244-0
- 7/02 Schmidt, Petra et al.: Neue Instrumente zur langfristigen Investitionsfinanzierung von KMU. Fallbeispiel Peru, 88 S., Bonn 2002, **D**: ISBN 3-88985-245-9
- 8/02 Krause, Matthias: Restrukturierung der Stromwirtschaft: Aufgaben für Staat und Entwicklungszusammenarbeit, 62 S., Bonn 2002, **D**: ISBN 3-88985-246-7
- 9/02 Wolff, Peter et al. : The Comprehensive Poverty Reduction and Growth Strategy in Vietnam. Process, Donor Contribution, and Prospects for its Implementation, 101 S., Bonn 2002, **E**: ISBN 3-88985-247-5
- 10/02 Berensmann, Kathrin et al.: Informal Financing of Small-Scale Enterprises in Sri Lanka, 70 S., Bonn 2002, **E**: ISBN 3-88985-248-3
- 1/03 Eckhardt, Ute: Existenzgründungsprogramme: Best Practices für die Entwicklungszusammenarbeit, 87 S., Bonn 2003, **D**: ISBN 3-88985-249-1
- 2/03 Müller, Katharina: Poverty and Social Policy in the Central Asia Transformation Countries, 85 S., Bonn 2003, **E**: ISBN 3-88985-250-5
- 3/03 Müller, Katharina: Armut und Sozialpolitik in den zentralasiatischen Transformationsländern, 92 S., Bonn 2003, **D**: ISBN 3-88985-251-3
- 4/03 Schmidt, Petra et al.: New Financing Instruments for Long-term Investments of SMEs. The case of Peru, 81 S., Bonn 2003, **E**: ISBN 3-88985-252-1
- 5/03 Klingebiel, Stephan: Der internationale Diskussionsstand über Programmorientierung: Schlussfolgerungen für die deutsche Entwicklungszusammenarbeit, 50 S., Bonn 2003, **D**: ISBN 3-88985-253-X
- 6/03 Müller, Katharina: Бедность и социальная политика в центральноазиатских государствах с переходной экономикой, 94. S., Bonn 2003, **R**: ISBN 3-88985-254-8, (Armut und Sozialpolitik in den zentralasiatischen Transformationsländern, 92 S., Bonn 2003, **D**: ISBN 3-88985-251-3, **E**: ISBN 3-88985-250-5)
- 7/03 Berensmann, Kathrin: Die Einbindung privater Gläubiger in die Prävention und Bewältigung von internationalen Verschuldungskrisen, 50 S., Bonn 2003, **D**: ISBN 3-88985-255-6
- 8/03 Berensmann, Kathrin: Involving Private Creditors in the Prevention and Resolution of International Debt Crises, Bonn 2003, **E**: ISBN 3-88985-256-4
- 9/03 Rodenberg, Birte: Gender und Armutsbekämpfung. Neuere konzeptionelle Ansätze in der internationalen Entwicklungszusammenarbeit, **D**: ISBN 3-88985-257-2
- 10/03 Krause, Matthias et al.: Sustainable Provision of Renewable Energy Technologies for Rural Electrification in Brazil : An Assessment of the Photovoltaic Option, **E**: ISBN 3-88985-258-0

**D** = Deutsch      **E** = Englisch      **F** = Französisch      **S** = Spanisch      **R** = Russisch